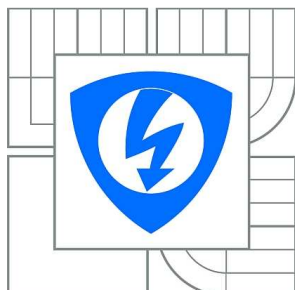


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologií

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

DISTRIBUCE ANALOGOVÉHO SIGNÁLU OPTICKÝM VLÁKNEM

DISTRIBUTION OF ANALOG SIGNAL BY OPTICAL FIBER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

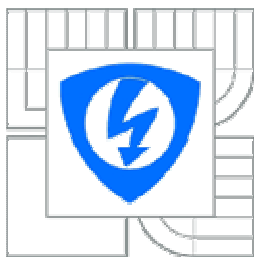
MARTIN STIBUREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN ŠPORIK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Martin Stiburek

Ročník: 3

ID: 106791

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Distribuce analogového signálu optickým vláknem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je blíže prostudovat problematiku šíření rádiového signálu vhodnými přenosovými médii. Porovnat vlastnosti různých přenosových médií. Seznámit s možnostmi převodu rádiového signálu a na signál optický. Analyzovat parametry v současnosti dostupným elektro-optických převodníků a popsat jejich aplikaci v praxi. Student provede demonstraci převodu analogového rádiového signálu na signál optický.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] SALEH, B. E. A. TEICH, M.C. Základy fotoniky, svazek 1. Dušek, R. M.; FIALA, J.; VACEK, J. Praha: MATFYZPRESS, 1994. 226 s. ISBN 80-85863-01-4.
- [2] SALEH, B. E. A. TEICH, M.C. Základy fotoniky, svazek 3. Dušek, R. M.; FIALA, J.; VACEK, J. Praha: MATFYZPRESS, 1994. 226 s. ISBN 80-85863-01-4.
- [3] WILFERT, O. Fotonika a optické komunikace. Brno: VUT FEKT, 2007. 128 s. ISBN 978-80-214-3537-7.
- [4] SCHOMMERS, A. Elektronika tajemství zbavená : objevovat, experimentovat, porozumět. kniha 4, Pokusy s optoelektronikou. Ostrava-Plesná: HEL, 2002. 191 s. ISBN 80-86167-04-6.
- [5] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 2.6.2010

Vedoucí práce: Ing. Jan Šporik

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na přenos analogového signálu pomocí optického vlákna. Práce je rozdělena na dvě části. V první části jsou popsány jednotlivé přenosové cesty, jejich srovnání a výhody. Dále práce popisuje samotné optické vlákno, zejména negativní vlivy působící při přenosu, tj. útlum a disperze signálu. Pozornost je dále věnována fyzickým prvkům optického přenosového systému. A to zdroji světla, detektoru světla, zesilovači a hlavně optickým převodníkům. Jsou vybrány tři různé typy optických převodníků a srovnány dle svých charakteristických vlastností. Závěr první části je věnován možnosti distribuce signálu optickým vláknem až ke koncovému zákazníkovi. Tato technologie přenosu je nazývána jako FTTH (Fiber to the Home).

Druhá část je zaměřena na praktickou realizaci optického přenosového systému. Ten je složen ze dvou převodníků, a to vysílače optického signálu a přijímače optického signálu. Přenosový systém je určen k přenosu analogového televizního signálu bez zvukového doprovodu. Po sestavení systému dle navrženého schématu byl přenos úspěšně simulován pomocí optického vlákna. Obvod však umožňuje své další rozšiřování za účelem zkvalitnění reprodukováného signálu. Pomocí programu EAGLE byly zhotoveny návrhy desek plošných spojů. Výsledkem je funkční optický systém.

KLÍČOVÉ SLOVA

optický převodník, RFoG, FTTH, modulace, analogový televizní signál

ABSTRACT

Bachelor's thesis is focused on analog signals via optical fibers. The thesis is divided into two parts. The first part describes the various transmission paths, and compare their advantages. Further describes the optical fiber itself, particularly the negative influences in the transmission, i.e. signal attenuation and dispersion. Attention is paid to the physical elements of the optical transmission system. As the light sources, light detectors, optical amplifiers and most optical transceivers. There are selected three different types of optical transceivers and compared according to their characteristics. Conclusion the first part is devoted to fiber optic signal distribution to the customers. This technology transfer is known as FTTH (Fiber to the Home).

The second part is focuses on the practical realization of optical transmission system. It consists of two optical transceivers - transmitter optical signal and optical signal receiver. Transmission system is designed for transmitting analog television signals without a soundtrack. After construction of the system according to the proposed transfer scheme was successfully simulated using the optical cable length of 3m. However, the circuit allows for its further expansion in order to improve the reproduced signal. Circuit boards were made by using EAGLE program. The result is a functional transfer system.

KEY WORDS

optical transceiver, RFoG, FTTH, modulation, analog television signal

STIBUREK, M. *Distribuce analogového signálu optickým vláknem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 71 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Šporik.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Distribuce analogového signálu optickým vláknem“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne.....

.....
podpis autora

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Šporikovi za velmi užitečnou odbornou pomoc a cenné rady při zpracování práce. Dále děkuji Ing. Martinu Slaninovi, Ph.D. za propůjčení televizního generátoru.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
1 PŘENOSOVÉ CESTY	12
1.1 DRUHY PŘENOSOVÝCH CEST	12
1.1.1 Metalická přenosová média	13
1.1.2 Bezdrátové vedení	13
1.1.3 Optické vlákno	14
1.2 VLASTNOSTI PŘENOSOVÝCH MÉDIÍ	15
1.2.1 Kroucená dvojlinka	15
1.2.2 Koaxiální kabel	15
1.2.3 Optický vlákno	15
2 OPTICKÝ PŘENOS	16
2.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE	16
2.1.1 Jednovidové vlákno	16
2.1.2 Mnohavidové vlákno se skokovým indexem lomu	17
2.1.3 Mnohavidové vlákno s gradientním indexem lomu	17
2.1.4 Polymerová optická vlákna	18
2.2 ÚTLUM, NEGATIVNÍ VLIVY NA OPTICKÉM VLÁKNĚ	18
2.2.1 Útlum optických vláken	18
2.2.2 Disperze	19
2.2.3 Přenosová okna	21
2.3 DOPORUČENÍ ITU – T	22
2.4 DRUHY MODULACÍ	23
2.4.1 Analogové modulace	23
2.4.2 Digitální modulace	24
2.4.3 Modulační vlastnosti laserové diody	24
2.4.4 Modulační vlastnosti luminiscenční diody	25
2.5 LINKOVÉ KÓDY	25
2.5.1 NRZ (Non – Return to Zero)	25
2.5.2 RZ (Return Zero)	25
2.5.3 AMI (Alternate Mark Inversion)	26
2.5.4 HDB3 (High Density Bipolar Three Zeros)	26
2.5.5 CMI (Codec Mark Inversion)	26
2.5.6 5B6B	26
3 PRVKY OPTICKÉHO PŘENOSU	28
3.1 ZDROJE SVĚTLA	28
3.1.1 Luminiscenční diody	28
3.1.2 Laserové diody	29

3.2	DETEKTORY SVĚTLA	29
3.3	ZESILOVAČE.....	29
3.3.1	Vláknové zesilovače	29
3.3.2	Polovodičové zesilovače.....	30
3.4	PŘEVODNÍKY	30
4	ANALOGOVÝ RADIOVÝ SIGNÁL	32
4.1	ZÁKLADNÍ POZNATKY	32
5	RÁDIOVÝ SIGNÁL PŘENÁŠENÝ OPTICKÝM VLÁKNEM	34
5.1	OBECE O SYSTÉMU	34
5.2	PŘENOSOVÝ SYSTÉM.....	36
5.2.1	Dopředný směr.....	37
5.2.2	Zpětný směr	37
5.3	VYUŽITÍ	38
6	NÁVRH OPTICKÉHO PŘENOSOVÉHO SYSTÉMU	39
6.1	VOLBA ŘEŠENÍ.....	39
6.2	POPIS NE564	41
6.3	POPIS FUNKCE VYSÍLAČE.....	42
6.3.1	Popis schématu	42
6.3.2	Frekvenční zdvih.....	45
6.3.3	Šířka pásma signálu	46
6.4	POPIS FUNKCE PŘIJÍMAČE	47
6.5	POSTUP REALIZACE	50
6.6	KVALITA PŘENÁŠENÉHO SIGNÁLU	51
	ZÁVĚR	54
	LITERATURA	56
	ZKRATKY A SYMBOLY	59
	VELIČINY	60
	SEZNAM PŘÍLOH	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Jednovidové vlákno	17
Obr. 2.2: Mnohavidové vlákno se skokovým indexem lomu	18
Obr. 2.3: Mnohavidové vlákno s gradientním indexem lomu	18
Obr. 2.4: Útlumová charakteristika a jednotlivá okna	21
Obr. 2.5: Časové průběhy linkových kódů	27
Obr. 4.1: Obecný sdělovací řetězec	32
Obr. 5.1: Distribuce signálu pomocí HFC	35
Obr. 5.2: Distribuční řetězec RFoG	37
Obr. 6.1: Výstupní signál z fotoaparátu	39
Obr. 6.2: Blokové schéma převodníku	40
Obr. 6.3: Schéma fázového závěsu	41
Obr. 6.4: Vstupní část zapojení	42
Obr. 6.5: Schéma zapojení modulátoru NE564	43
Obr. 6.6: Průběh nosného signálu o kmitočtu 13,7 MHz	44
Obr. 6.7: Koncový stupeň vysílače	44
Obr. 6.8: Vstup přijímače včetně zapojení NE592	47
Obr. 6.9: Schéma zapojení demodulátoru NE564	48
Obr. 6.10: Schéma koncového stupně přijímače	49
Obr. 6.11: Vstupní signál do zobrazovací jednotky	49
Obr. 6.12: Výstupní signál generátoru	51
Obr. 6.13: Blokové schéma pro měření přeneseného signálu	52
Obr. 6.14: Signály zachycené osciloskopem.	52
Obr. 6.15 : Znázornění barevného sinálu [30]	53
Obr. 6.16: Signál přenesený optickým vláknem	53

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Základní charakteristiky přenosových médií [6]	15
Tab. 2.1: Parametry optických vláken	17
Tab. 2.2: Útlumy při dělení kanálu rozbočovačem	19
Tab. 2.3: Srovnání jednotlivých modulací	23
Tab. 3.1: Parametry vybraných převodníků	31
Tab. 4.1: Rozdělení frekvenčních pásem [18]	33

ÚVOD

Datová komunikace se stala nedílnou součástí každého moderního člověka. Nejen jednotlivci, ale i celé organizace a instituce se stali závislými na propojení s okolním světem. Lze říct, že při celkovém výpadku všech telekomunikačních systémů, by se lidstvo ocitlo během krátké doby na pokraji kolapsu.

Přenos signálu optickým vláknem lze hodnotit za jeden z nejvýznamnějších technologických objevů druhé poloviny 20. století. Pro rozvoj moderních multimediálních služeb bylo právě objevení optického přenosu zásadní. Optické vlákno přispělo k rychlému rozvoji a nasazení vyspělých komunikačních platforem po celém světě. Bakalářskou práci zabývající se tímhle telekomunikačním odvětvím je možno rozdělit do dvou hlavních bloků.

První z nich je věnován obecně problematice přenosu informace. Pozornost je nejprve zaměřena na jednotlivé druhy přenosových médií, zejména podchycení výhod a naopak nevýhod metalických, bezdrátových a optických přenosů. Další část je podrobněji zaměřena na přenos informace pomocí světelného paprsku, objasňuje fyzikální a technologickou problematiku jeho šíření. Zejména jsou zde popsány negativní vlivy projevující se při přenosu informace optickým vláknem. Navazující kapitola je zaměřena na popis funkčnosti a charakteristiky jednotlivých technologických prvků, tvořící telekomunikační optický přenosový systém. Dále je prostor věnován radiovému signálu a problematice jeho šíření. S tím souvisí i popis obecního přenosového telekomunikačního řetězce, jenž je základním prvkem pro pochopení principu veškerých informačních přenosů.

V poslední kapitole první části bakalářské práce jsou skloubena předchozí témata do jednoho celku, koncepčně do sebe zapadajícího. Jedná se o přenos dat, hovorů a televizních signálů pomocí optického vlákna přímo ke koncovému uživateli, kde dochází k převodu na signál elektrický a následné jeho distribuci pomocí metalického vedení. Výše popsaná topologie se označuje jako FTTH (Fiber to the home), nebo-li distribuce užitečného signálu pomocí optického vlákna. Je charakteristická tím, že pro přenos využívá minimálního úseku metalického vedení. Důsledkem toho částečně odpadají problémy související s přenosem pomocí metalického vedení, zejména pak útlumu signálu. Ten způsobuje hlavní problém při distribuci signálu na delších trasách.

Druhá část práce je zabývá realizaci optického přenosového systému, nebo-li systému umožňující převod analogového elektrického signálu na signál optický a u příjemce pak následný inverzní proces. V navazujících kapitolách je pak detailně popsána funkce jednotlivých bloků přijímače i vysílače signálu. Zhotoveny jsou návrhy plošných spojů přenosového systému, které jsou umístěny v příloze. Dle dokumentace je možno opětovně zhotovit totožný systém. Poslední kapitola je zaměřena na posouzení kvality přenášeného signálu. Obsahuje snímek distribuovaného televizního signálu přeneseného úspěšně navrženým optickým systémem.

1 PŘENOSOVÉ CESTY

Pojmem přenosová cesta rozumíme fyzikální prostředí vhodné pro přenos užitečné informace. Přenosové cesty dělíme dle toho, kterým prostředím se vlna šíří. Existuje tedy prostředí metalické, optické a bezdrátové. V poslední době roste zejména zájem o přenos optický, naopak ustupuje šíření elektromagnetických vln pomocí drátového vedení.

1.1 DRUHY PŘENOSOVÝCH CEST

Signály se přenášejí pomocí elektromagnetických vln, které se šíří všemi prostředími. Elektromagnetická vlna je charakteristická svou frekvencí f a vlnovou délkou λ . Ta je dána poměrem mezi rychlostí šíření vlny C ($3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a frekvencí.

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (\text{m}; \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{Hz}). \quad (1.1)$$

Každý typ přenosové cesty je charakteristický zejména maximálním možným přenášeným kmitočtem, s čímž souvisí i velikost přenášeného pásma B . Ta je obvykle měřena v Hz a udává rozdíl mezi maximálním a minimálním kmitočtem jenž je schopno médium přenést

$$B = f_{\max} - f_{\min} \quad (\text{Hz}; \text{Hz}, \text{Hz}). \quad (1.2)$$

Přenos informace může být uskutečněn buď v pásmu základním nebo přeloženém. Při využití pásma základního jsou užitečná data přivedena rovnou na přenosové médium, kdežto při přenosu v pásmu přeloženém dochází před samotným přenosem nejdříve k modulaci. Více v kapitole 2.4.

Modulace je charakterizována modulační rychlostí v_m , která vyjadřuje počet signálových prvků vyslaných za sekundu a její velikost je dvojnásobná šířce přenášeného pásma B .

$$v_m = 2 \cdot B \quad (\text{Bd}; \text{Hz}). \quad (1.3)[1]$$

Důležitým parametrem každého přenosu je rychlost přenosová v_p , ta udává množství přenesené informace vztažené za časovou jednotku, zpravidla sekundu. Rychlost modulační souvisí s rychlostí modulační v_m a s počtem stavů číslicového signálu m .

$$v_p = v_m \cdot \log_2 m \quad (\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}; \text{Bd}, -). \quad (1.4)[1]$$

Maximální možná přenosová rychlost média úzce souvisí s velikostí přenášeného pásma B , důležitým činitelem je taky poměr užitečného signálu od šumu S/N . Poměr je důležitým aspektem z hlediska určení kvality linky.[1] [2]

$$v_{p \max} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}; \text{Hz}, \text{dB}, \text{dB}). \quad (1.5)[1]$$

1.1.1 Metalická přenosová média

Přenos signálu pomocí metalického média patří k nejběžnějším způsobům. Nositelem informace je elektrický signál, vyjádřený úrovní napětí nebo proudu. Využívá se vhodného uspořádání vodičů, v dnešní době se nejvíce využívá kabelů měděných. Ty mají poměrně dobré mechanické a elektrické vlastnosti.

Základní rozdělení metalického vedení:

- Asymetrické vedení - zejména koaxiální kabel
- Symetrické vedení - hlavní zástupce kroucená dvojlinka

Asymetrické vedení

Koaxiální kabel se svou konstrukcí řadí mezi asymetrická vedení. Tvoří jej dva soustředěné vodiče. A to vodič středový a vnější vodič stínění. Důležitým parametrem koaxiálního kabelu je jeho charakteristická impedance (dnes se používá 50 a 75 Ω).

Amplituda napětí a proudu se skládá v každém místě ze dvou složek, z hlavní vlny a odražené vlny. Amplitudy těchto vln závisí na vlnové impedanci vedení Z_c a impedancem zakončení vedení Z_z . Je nezbytné, aby impedance byly shodné $Z_c = Z_z$. Pak ve vedení nevzniká odražená vlna a vedení je zakončeno korektně. Koaxiální kabel lze využít na větší vzdálenosti (500 m) a při vyšších frekvencích 1 GHz.

Výhodou kabelu je, že méně vyzařuje a je mechanicky odolný. Koaxiální kabel se stále uplatňuje v telekomunikaci, v sítích HFC (Hybrid Fiber Coax), hlavní použití nachází pro rozvod kabelové televize.[3]

Symetrické vedení

Hlavním zástupcem symetrického vedení je kroucená dvojlinka, která je tvořena páry vodičů. Ty jsou po své délce pravidelným způsobem. Důvody tohoto procesu jsou dány zlepšením elektrických vlastností kabelu. Každé dva vodiče vedeny souběžně fungují jako anténa, proto je nutné provádět zkruty (typicky každých 7,5 až 10 cm).

Kabel většinou obsahuje dvě nebo více kroucených dvojlinek, které jsou buď nestíněné UTP (Unshielded Twisted Pair) nebo stíněné STP (Shielded Twisted Pair).

Využití našla kroucená dvojlinka především v počítačových sítích a pro realizaci místní telefonní smyčky. Pracuje s šířkou pásma do 700 MHz, maximální přenosové rychlosti dosahuje při 10 Gbit·s⁻¹. [4]

1.1.2 Bezdrátové vedení

Bezdrátový přenos je specifickým tím, že není potřeba jakéhokoliv fyzického média, signál se zde šíří volným prostorem. Odpadají tedy technické a finanční nároky na vybudování cesty. O to více je však kladen důraz na dokonalost vysílacího a přijímacího zařízení, jelikož bezdrátový přenos je mnohem více náchylný na různé typy rušení.

Bezdrátové přenosy se dělí podle uspořádání přenosové cesty na spoje:

- Všesměrové, kdy signál pokrývá poměrně rozsáhlé území. Příkladem přenosu může být televizní a rozhlasové vysílání. Využívá se frekvencí maximálně 1 GHz.
- Úzce směrové, vysílací výkon je obsažen v úzkém paprsku. Při přenosu je nutná přímá viditelnost vysílače a přijímače. Uskutečňuje se tedy na kratší vzdálenosti. Vysílání je typické pro kmitočtovou oblast několika desítek GHz.
- Družicové, přenos je zde zajištěn pomocí telekomunikačních družic. Systém lze rozdělit na dvě základní skupiny dle umístění zařízení a to na pozemský sektor a kosmický. Pozemský sektor je souhrn stanic komunikujících s družicemi. Ty jsou umístěny na zemské oběžné dráze. Dle výšky jejich oběhu nad Zemí se dělí na GEO (Geostationary Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit) a LEO (Low Earth Orbit)

Družicové spoje jsou využívány zejména v místech, kde není kvalitní pokrytí signálem terestriálního vysílání. Komplikace však přináší omezená dostupnost frekvencí, větší vliv rušení a menší odolnost vůči odposlechu.[2]

1.1.3 Optické vlákno

Při přenosu signálu optickým vláknem se využívá světelných impulsů, které jsou zde nosičem informace. Využívá se fyzikální podstaty odrazu světla, tedy dopadá-li paprsek na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu, pak část jeho energie se odrazí zpět a část pronikne do jiného prostředí. Parametr udávající koeficient odrazu je úhel, pod kterým paprsek do vlnovodu vstupuje. Přichází-li světlo pod tímhle úhlem, dochází k totálnímu, bezztrátovému odrazu. Principu se využívá při přenosu signálu optickými vlákny.

Optická vlákna přinášejí mnoho výhod oproti ostatním přenosovým cestám. Největší předností je šířka pásma a s tím spojené velké přenosové rychlosti, velmi nízký útlum, dále značná obtížnost odposlechu, odolnost vůči interferencím, neexistující elektrická vazba mezi budovami a jejich dlouhá životnost.

Nevýhody jsou spojeny pouze s vysokými pořizovacími náklady. A to jak samotných kabelů, tak i ostatních prvků přenosového systému (převodníků, zesilovačů atd.). Při pohledu na souhrn výhod optických kabelů se však počáteční nákladná investice do zařízení vyplatí. Trendem poslední doby je však neustálý cenový pokles těchto zařízení. [5]

1.2 VLASTNOSTI PŘENOSOVÝCH MÉDIÍ

1.2.1 Kroucená dvojlinka

Je poměrně citlivá na šum a na přeslechy ze sousedních kabelů. Z tab.1.1 je zřejmé, že z nabízených alternativ poskytuje nejmenší šířku pásma. Výhodou je jednoduchá instalace, nízká cena, možnost použít stávající telefonní rozvody, snadné připojování existujících zařízení.

1.2.2 Koaxiální kabel

Mezi výhodu koaxiálního kabelu patří velká odolnost vůči elektromagnetickému rušení, přiměřená cena, snadná instalace. Nevýhodou je větší náchylnost na poškození. Je definovaný poloměr ohybu, který specifikuje mechanické namáhání koaxiálního kabelu.

1.2.3 Optický vlákno

Poskytuje velmi široký frekvenční rozsah použití. Využívá se pro přenos na velkou vzdálenost bez nutnosti použití opakovače. Přenosové rychlosti dosahuje větší než 10 Gbps. Vláknem je odolné vůči odposlechům, rušením a je mechanicky stálé (nekoroduje). Komplikaci přináší křehkost optického kabelu a poměrně složité je i konektrování.

Tab. 1.1: Základní charakteristiky přenosových médií [6]

	Optické vlákno	Koaxiální kabel	Kroucená dvojlinka
Útlum	0,2 dB/km 1 kHz	7 dB/km 10 MHz	0,7 dB/km 1 kHz
Šířka pásma	300 THz	1 GHz	700 MHz
Typické zpoždění [μ s/km]	5	4	5
Mezery mezi opakovači [km]	40	9	2

2 OPTICKÝ PŘENOS

Pro přenos informace pomocí optického vlákna se využívá vlnových délek v rozsahu 500 až 1600 nm. Jako nejvýhodnější se z pohledu dnešní doby jeví oblast 1300 až 1600 nm, která vykazuje malé ztráty při přenosu. V této oblasti pracuje většina výkonných zdrojů a detektorů signálu.

2.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Jako zásadní se jeví výhoda spočívající v tom, že při přenosu signálu optickým vláknem nevznikají elektrická ani magnetická pole. Optický přenos je proto odolný vůči interferencím a možnost odposlouchávání je značně komplikovaná.

Optický přenosový systém se ve své jednoduché podobě skládá ze zdroje světelného záření, optického prostředí (zpravidla optické vlákno) a detektoru záření. Vysílací a přijímací část obsahuje elektro-optické měniče, vstupní a výstupní signál má tedy podobu elektrickou. Jako světelný zdroj se využívá laserové diody (LD) nebo luminiscenční diody (LED). Signál se upravuje v modulátoru (viz kapitola 2.4) nebo přímo změnou budícího proudu.

Při výrobě optického vlákna se využívá zejména oxidu křemičitého, do nějž se přidáním různých příměsí ovlivňuje přenosová charakteristika vlákna a tím se dosahuje potřebného typu. Proces samotné výroby je poměrně náročná technologie, což je důvod relativně vysoké ceny vláken.

Přenosové a geometrické vlastnosti jsou standardizovány v doporučeních ITU-T. Doporučení je celá řada, např. G.651 pro gradientní vlákna, G.652 pro jednovidová vlákna vlnové délky 1300 nm, G.653 pro jednovidová vlákna pracující s vlnovou délkou 1550 nm atd. [5]

Konstrukci optických vláken znázorňuje obr. 2.1, obr. 2.2 a obr. 2.3. Rozeznáváme tři základní druhy konstrukcí vláken:

- jednovidové vlákno
- mnohavidové vlákno se skokovým indexem lomu
- mnohavidové vlákno s gradientním indexem lomu

2.1.1 Jednovidové vlákno

Je charakteristické svým nízkým útlumem, velmi malou disperzí a vysokou přenosovou rychlostí. Používají se zejména pro dálkové přenosy (páteřní sítě). K buzení signálu využívají laserovou diodu. Cenově jsou nejdražší [5]. Parametry optických vláken jsou obsaženy v tab. 2.1. [5]

2.1.2 Mnohavidové vlákno se skokovým indexem lomu

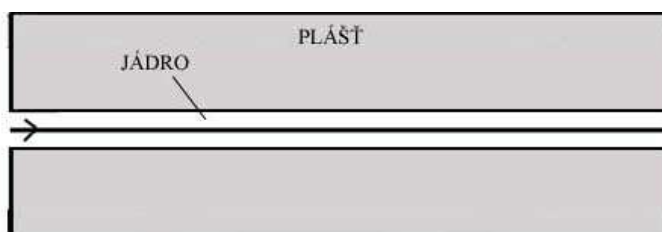
Předností tohoto druhu vlákna je jednodušší proces výroby a jeho konstrukce. Nevýhodou je pak větší útlum, disperze a s tím spojená nižší přenosová rychlost. Rozměry jádra a pláště jsou větší než u jednovidového vlákna. Vlákna jsou používána při přenosu na kratší vzdálenosti, v lokálních sítích apod. Optický signál pro mnohavidové vlákno je generován pomocí LED diody. [5]

2.1.3 Mnohavidové vlákno s gradientním indexem lomu

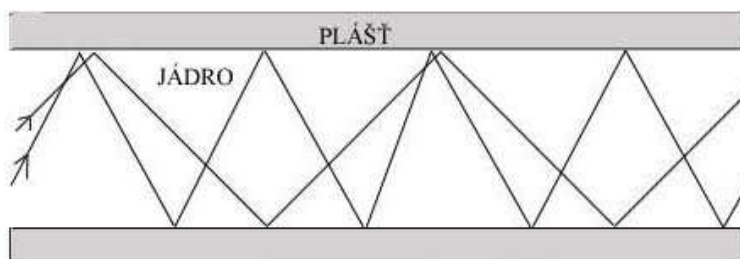
Paprsek má charakter sinusovky, což snižuje vidovou disperzi. Vlákno je charakteristický menším útlumem a disperzí. Oblast využití je především v telekomunikaci a to zejména na krátké vzdálenosti.

Tab. 2.1: Parametry optických vláken

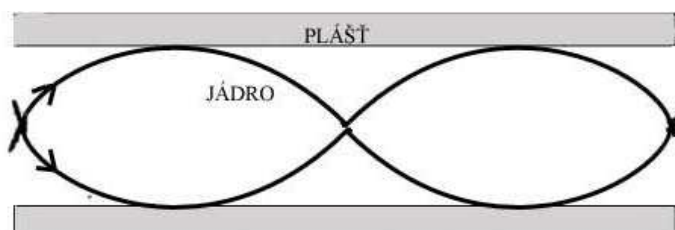
Parametr	Jednovidové vlákno	Mnohavidové vlákno se skokovým indexem lomu	Mnohavidové vlákno s gradientním indexem lomu
Průměr jádra [μm]	7 - 9	50 - 200	50
Průměr pláště [μm]	125	120 - 300	125
Disperze [$\text{ns}\cdot\text{km}^{-1}$]	0,3	50	1
Útlum [$\text{dB}\cdot\text{km}^{-1}$]	0,2	5 - 20	2,5 - 5
Šířka pásma [MHz]	10000	60	600



Obr. 2.1: Jednovidové vlákno



Obr. 2.2: Mnohavidové vlákno se skokovým indexem lomu



Obr. 2.3: Mnohavidové vlákno s gradientním indexem lomu

2.1.4 Polymerová optická vlákna

Jsou vlákna vyrobená z umělé hmoty. Jedinou nevýhodou těchto umělohmotných vláken je jejich velký útlum, který se však v dnešní době daří postupně snižovat. Vlákno o nejmenším útlumu dosahuje hodnoty $10 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. Což je akceptovatelná hodnota útlumu, tudíž vlákna jsou postupně nasazována. Především na velmi krátké vzdálenosti. Velkou předností je jednoduchá a snadná montáž, jednoduchost výroby, což vede k nízkým pořizovacím nákladům. Polymerová vlákna mají tedy velkou budoucnost, hlavně pokud se bude dařit stále snižovat jejich útlum. [5]

2.2 ÚTLUM, NEGATIVNÍ VLIVY NA OPTICKÉM VLÁKNĚ

Při přenosu optickým vláknem dochází vlivem přenášeného prostředí k částečnému zhoršení kvality signálu. Může nastat zeslabení signálu (útlum) i změna tvaru přenášených impulsů.

2.2.1 Útlum optických vláken

Celkový útlum na trase je složen z útlumu vlákna, rozdělovačů, konektorů, mechanických spojek a svárů. Útlum rozdělovačů je závislý na počtu rozdělení kanálu. Tab. 2.2 znázorňuje hodnotu útlumu při konkrétním dělicím poměru. [7]

Tab. 2.2: Útlumy při dělení kanálu rozbočovačem

Dělení	Ideální útlum [dB]	Reálný útlum [dB]
1/2	3	4
1/4	6	7
1/8	9	10
1/16	12	14
1/32	15	17
1/64	18	20
1/128	21	23
1/256	24	26

Útlum optických vláken je zejména způsobován:

- absorpcí prostředí ve kterém se signál šíří
- vyzařováním z vlákna
- materiálovým rozptylem

Ztráty absorpcí jsou způsobeny rezonančním kmitočtem iontů kovů, který odpovídá vlnové délce 2800 nm, ležící mimo oblast využívané pro optické přenosy, ale druhá a třetí harmonická již spadá do pásma využívané pro přenos. Při výrobě vláken je tedy nutné zajistit nízkou koncentraci iontů a tím se vyhnout nechtěným vlnovým oblastem.

Příčinou ztrát vyzařováním je lom paprsku na rozhraní dvou prostředí s různým indexem lomu. Část paprsku je odražena a část proniká z jádra ven.

Materiálový rozptyl je důsledkem malých náhodných nehomogenit atomové struktury vlákna, vztahených k vlnové délce procházejícího světla. Vznikající ztráty se nazývají Rayleighovy.

Další možné ztráty mohou být způsobeny porušením geometrie vlákna, porušením tvarů a rozměrů mezi jádrem a pláštěm. Svou roli mohou sehrát taky extrémní teploty, vyšší útlum vykazují vlákna při teplotě -30°C a nižší, a naopak při teplotách vyšších než 70°C . [5]

2.2.2 Disperze

Disperze je jev, který nejvíce ovlivňuje přenosové vlastnosti optických vláken. Určuje šířku přenášeného pásma a tím i přenosovou rychlost. Důsledkem disperze je rozšiřování optických pulsů při průchodu vláknem. Takhle zdeformovaný impuls může zasahovat do vedlejších bitových mezer a tím dojde ke zkreslení přenášené informace. Disperze je taky definována jako rozdíl šířky pulsu v polovině jeho výšky na konci a na začátku optického přenosu.[5]

Existují různé druhy disperzí:

Materiálová disperze

Materiálová disperze je dána tím, že světlo je složeno z velkého počtu vlnových délek a jednotlivé vlnové délky se šíří jinou rychlostí. Typická hodnota disperze mnohavidových vláken, při vlnové délce 850 nm, je přibližně $300 \text{ ps} \cdot \text{km}^{-1}$.

Vlnovodná disperze

Je způsobena změnou geometrie šířícího se vidu a tím i změnou fázové rychlosti šíření při změně kmitočtu. U mnohavidových vláken lze vlnovou disperzi zanedbat, projevuje se však u jednovidových vláken, kde dosahuje hodnoty cca $2 \text{ ps} \cdot \text{km}^{-1}$ při vlnové délce 1300 nm.

Chromatická disperze

Je součtem disperze materiálové a vlnovodné. Při přenosu můžeme zvolit takový pracovní kmitočet, ve kterém bude chromatická disperze ve středu přenášeného pásma nulová. Tím lze u jednovidových vláken zvýšit přenášené pásmo.

Vidová disperze

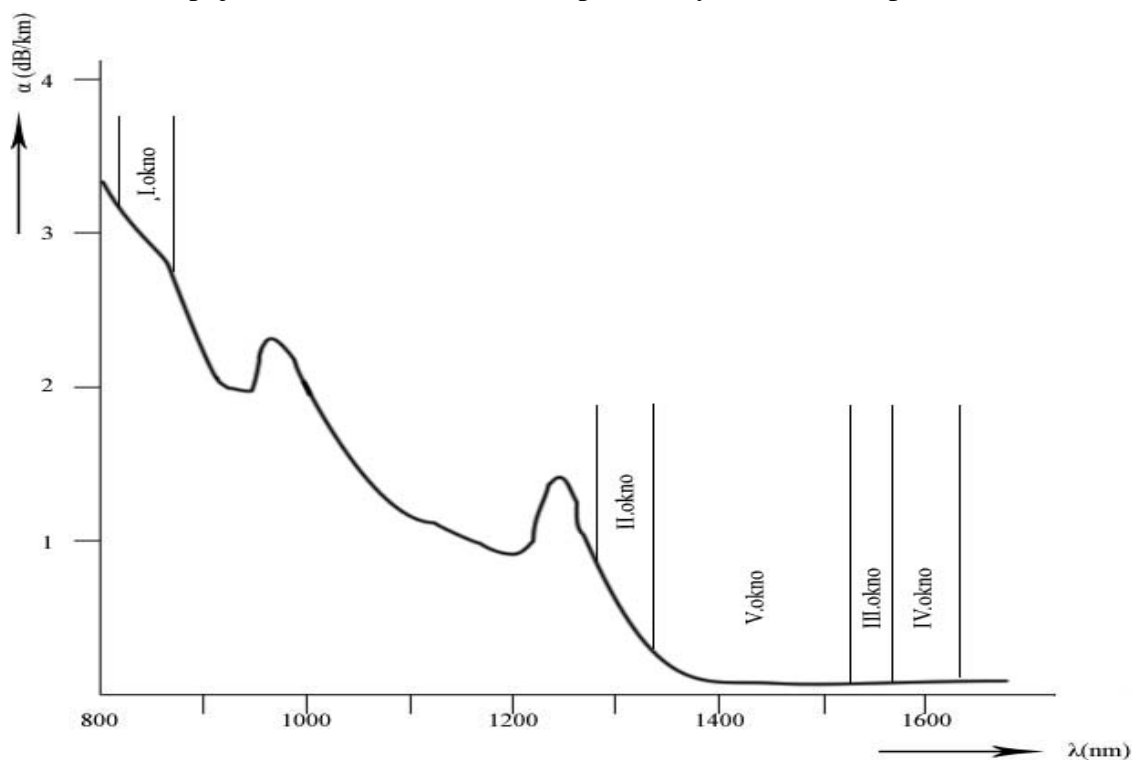
Pokud se energie šíří pomocí více vidů, zahrnuje se ještě disperze vidová. Ta je způsobena rozdílnou rychlostí šíření jednotlivých vidů. Čím větší úhel svírá dráha paprsku a osa optického kabelu, tím je rychlost šíření menší. Jednovidová vlákna mají disperzi pouze chromatickou. Omezit vidovou disperzi lze buď snížením počtu vidů nebo vyrovnáním jejich rychlostí šíření.

Z praktického hlediska je třeba upozornit na skutečnost, že není nutné při technologické výrobě dosáhnout vždy těch nejlepších vlastností. Důležité je volit kompromis mezi kvalitou a cenovou dostupností vlákna. [5]

2.2.3 Přenosová okna

Pro potřeby šíření světelného impulsu se využívá několik přenosových oken. Znázorněna jsou v obr. 2.4.

- I. Okno (850 nm) - útlumová charakteristika zde prudce klesá. Útlum je poměrně vysoký, využívá se tedy při přenosu na krátké vzdálenosti. V této vlnové délce jsou vyráběny levné zdroje záření.
- II. Okno (1280 až 1335 nm) v tomto okně se uskutečňuje jednovidový přenos a je využíváno pro distribuci signálu na dlouhé vzdálenosti. Útlum zde dosahuje hodnoty přibližně $0,35 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$.
- III. Okno (1530 až 1565 nm) je využíváno stejně jako předchozí okno pro dálkový přenos, jelikož v této vlnové délce dosahuje velmi nízkého měrného útlumu, cca $0,2 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$.
- IV. Okno (1565 až 1610 nm) - útlumové parametry se od třetího okna liší jen minimálně. Často se spojí spektrum oken III. a IV. což vede k zdvojnásobení přenosové kapacity.
- V. Okno (1335 až 1530 nm) - pro přenosy se této vlnové délky využívá od konce 90. let. Spojením oken II. až V. vzniká přenosový kanál o šířce pásma 50 THz. [5]



Obr. 2.4: Útlumová charakteristika a jednotlivá okna

2.3 DOPORUČENÍ ITU – T

Mezinárodní telekomunikační unie ITU (International Telecommunication Union) definuje v optické komunikaci následující standardy, které určují geometrické, přenosové a mechanické požadavky na jednotlivá optická vlákna. Nejdůležitější doporučení jsou uvedeny níže.[5][8]

- G.652 – označuje klasické jednovidové vlákno s poloměry 9/125 μm . Vlákna s tzv. vnořeným indexem lomu, tzn. že index lomu pláště je v blízkosti jádra nižší než je tomu v jiné části pláště, tvoří speciální skupinu.
- G.652.C – jedno se o nový typ vlákna, které je schopno na rozdíl od G.652 využívat celého dostupného spektra vlnových délek, včetně rozsahu 1360 nm až 1460 nm.
- G.652.D – je plně kompatibilní se všemi vlákny G.652.
- G.653 – označují se jako DSF (Dispersion Shifted Fiber) a byly vyrobené se záměrem potlačit chromatickou disperzi při vlnové délce 1550 nm. Své uplatnění našly pro přenos na velké vzdálenosti a jsou schopny velké přenosové rychlosti. Nevýhodou je překrývání jednotlivých vlnových délek a tím vytváření přeslechů při použití vlnového multiplexu.
- G.654 – jedná se o speciální variantu základních vláken G.652. Jsou navržena pro velmi nízký útlum ve spektrální části 1550 nm. Jedná se o náročná vlákna používaná pro přenosy na dlouhých trasách, své uplatnění nacházejí např. jako podmořské kabely.
- G.655 – standardizuje typ vlákna s posunutou nenulovou disperzí, která jsou přizpůsobena pro přenos v pásmu 1550 nm. Vlákna se uplatňují pro přenosy na velkou vzdálenost pro své vysoké přenosové rychlosti. Jsou využívána k provozu technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
- G.656 – vlákna s posunutou nenulovou disperzí jsou využívána pro přenos signálu ve spektrálním pásmu 1460 – 1625 nm. Použitím systému DWDM jsou schopny přenést až 40 kanálů.
- G.657.A – používá se zejména pro přístupové sítě a pro vnitřní kabeláže. Své uplatnění tedy nachází i při řešení technologie přenosu radiového signálu pomocí optického vlákna (RFoG). Přístupové optické sítě kladou specifické požadavky zejména na mechanické vlastnosti vlákna. Důvodem je větší počet instalací kabelu, vystavení mnoha prudkým ohybům či neodborné manipulaci v souvislosti s používáním samotného uživatele. Cílem výrobců optických vláken je tedy uvést na trh taková vlákna, která výrazně usnadní instalaci a manipulaci. Optická vlákna podle specifikace G.657.A mají geometrické, přenosové a mechanické parametry totožné s jednovidovými optickými vlákny G.652.D. Rozdílem je normalizace tzv. makroohybových ztrát. Vlákna jsou

odolné do poloměru ohybu 15 a 10 mm na dvou vlnových délkách 1550 a 1625 nm.

G.657.B – označují optická vlákna mající opět totožné parametry s optickými vlákny podle G.652.D, ale disperze chromatická a vidová nejsou přesně definovány, jelikož se vlákna používají na krátké vzdálenosti, kde tyto vlastnosti nejsou důležité.

2.4 DRUHY MODULACÍ

Modulace je proces při němž ovlivňujeme určitým parametrem (amplituda, frekvence, fáze) nosný signál. Je to nezbytná podmínka při přenosu informace nejen v optické telekomunikaci. Inverzní dějem je demodulace používaná na přijímací straně.

V optoelektronice se využívá známých metod modulace, a to amplitudová, frekvenční a fázová. Přenáší-li se analogový signál (např. televizní), tak se většinou používá amplitudové modulace s přímou modulací intenzity záření.

Tab. 2.3 znázorňuje vybrané vlastnosti pro zvolené modulace – frekvenční, amplitudovou a obecně digitální. V tabulce je zohledněn poměr signálu ku šumu (S/N), finanční stránky vysílače, respektive přijímače a nutnosti nastavení zisku přijímače. [9]

Tab. 2.3: Srovnání jednotlivých modulací

	Amplitudová modulace	Frekvenční modulace	Digitální modulace
S/N	Podprůměrný	Nadprůměrný	Dobrý
Cena vysílače	Nadprůměrná	Průměrná	vysoká
Cena přijímače	Průměrná	Nadprůměrná	Vysoká
Nastavení zisku přijímače	Vyžadované	Není třeba	Není třeba

2.4.1 Analogové modulace

Analogová modulace je náročnější na odstup signálu od šumu oproti modulacím digitálním. Hlavní problémem analogové modulace je značná nelinearita optických součástek, ta se projevuje především při vyšších kmitočtech. Je tedy žádoucí provádět linearizaci charakteristik. K tomu se využívají různé metody [5]:

- metoda předzkreslení – před vlastní modulací je signál nejdříve veden přes obvody zajišťující inverzní nelineární zkreslení.
- metoda fázové modulace – současná modulace dvou LED, přičemž signály jsou fázově posunuty o $\pi/2$.
- metoda záporné vazby – je výhodná pro svou jednoduchou realizaci. Část vyzařovaného výkonu se použije pro vytvoření proudu modulující diodu.

I přes neustálou digitalizaci má analogová modulace v optických přenosových systémech stále své uplatnění a to zejména při přenosu signálu televizního.

Amplitudová modulace

Výhodou amplitudové modulace je především její jednoduchost, tudíž není hardwarově náročná. Amplituda vstupního signálu, velikost napětí, je přímo vyjádřena jako intenzita světla. Proto je často označována jako intenzitní modulace IM.

Amplitudová modulace má dvě základní nevýhody. Především značná nelinearita optických součástí, při níž dochází na přijímací straně k deformaci detekovaného signálu. Druhý problém souvisí s útlumem signálu vznikajícím při přenosu, dochází tedy ke snížení intenzity přijímaného signálu a tím i k jeho degradaci. [10]

Frekvenční modulace

Princip frekvenční modulace spočívá v ovlivňování frekvence nosného kmitočtu velikosti vstupního signálu. Předností frekvenční modulace je odolnost vůči změnám amplitudy způsobené útlumem optického vlákna. Další výhodou frekvenční modulace je fakt, že důležitý prvek určující kvalitu přenosu, tj. odstup signálu od šumu S/N může být zlepšen zvýšením frekvenčního zdvihu kmitočtu nosné.

V porovnání s modulací amplitudovou odpadá striktní požadavek na linearitu optických komponentů. Modulace frekvenční používá zpravidla složitější elektronické obvody než modulace amplitudová. [11]

2.4.2 Digitální modulace

Jiným řešením je, původní analogový signál převést na digitální a použít modulačních metod PCM – IM (Pulse Code Modulation – Intenzity Modulation), PFM – IM (Pulse Frequency Modulation – Intenzity Modulation) a PWM – IM (Pulse Wide Modulation – Intenzity Modulation). [5]

2.4.3 Modulační vlastnosti laserové diody

Předností laserových diod je fakt, že můžeme použít modulaci přímou, kdy modulační proud lze přímo nanést na konstantní injekční proud.

Nejvýhodnější je však použití impulsní modulace. Při zvyšující se přenosové rychlosti se však vyskytují specifické problémy. Jsou způsobeny zpožděním výstupního signálu za vstupní impulsní modulací a možností vzniku relaxačních kmitů.

Je tedy důležité tyto nežádoucí jevy co nejvíce potlačit, avšak při zachování časové a teplotní stability. Nutností je správné nastavení pracovních podmínek – pracovního bodu. K jeho nastavení se využívají proudové zdroje. Pro pracovní oblast daného laseru je nutno zvolit lineární část charakteristiky. [5]

2.4.4 Modulační vlastnosti luminiscenční diody

Je zde taky možné použití přímé modulace, stejně jako u laserových diod. Využívá se rozsahu lineární statické modulační charakteristiky, která se zakřivuje až při vyšších teplotách.

Dochází k nežádoucím jevům, zejména zpoždění odezvy diod vzhledem k injekčnímu proudu a ke zpomalování náběžných a závěrných hran vstupních modulačních impulsů. Tyto jevy omezují frekvenční pásmo modulace.

Pro získání vyšších modulačních frekvencí je nutné polarizovat LED napětím, které je svou hodnotou blízké difúznímu napětí U_d . Taky je nezbytně nutné provést správné výstupní impedanční přizpůsobení generátoru na vstupní impedanci diody.

2.5 LINKOVÉ KÓDY

Druh linkového kódu je důležitým parametrem ovlivňující systém optického přenosu. Vzhledem k nemožnosti optického záření generovat záporné hodnoty je nutno zvolit odlišné kódy oproti kódům používané v metalických vedeních. Záporná hodnota u kódů AMI a HDB3 je proto reprezentována nepřímo pomocí trvalého předpětí třístavovým kódem.

Požadavky kladené na linkový signál jsou především konstantní stejnosměrná složka, jednoduchá detekce chyb, minimální požadavek na šířku pásma a jednoduchost použitého kodéru a dekodéru.

Jelikož se jedná o přenos optický, je nutno zohlednit i další důležité požadavky jako linearitu modulační charakteristiky zdroje záření, šířku pásma, útlum optického vlákna a citlivost detektoru. [5] [12]

Časové průběhy nejznámějších linkových kódů jsou znázorněny na obr. 2.5.

2.5.1 NRZ (Non – Return to Zero)

Kód je často používán, zejména pro svou jednoduchost. Jedná se o dvoustavový linkový kód. Problém nastává při dlouhé sekvenci přenášených bitů stejné úrovně, jelikož je obtížné obnovit časovou synchronizaci pro přijímač. Obdobou signálu je jeho invertovaná verze označovaná jako NRZI (Non - Return to Zero Inverted).

2.5.2 RZ (Return Zero)

Při použití kódu se stav signálu vrací zpět k nule mezi každým impulsem. Nevýhodou je výskyt stejnosměrné složky.

2.5.3 AMI (Alternate Mark Inversion)

Jedná se o třístavový linkový kód, kde symbol log.0 je reprezentován beznapět'ovou konstantní úrovní. Symbol log.1 je pak střídavě reprezentován buď jako impuls o velikosti $+A$ nebo $-A$. Při sekvenci log.1 je výhodou dobrá synchronizace. Problémem je naopak udržení synchronizace přijímače při dlouhých posloupnostech log.0.

2.5.4 HDB3 (High Density Bipolar Three Zeros)

Odstraňuje předchozí nevýhody kódu AMI. Princip převodu signálu je totožný s kódem AMI, avšak v linkovém signálu používající kód HDB 3 se mohou za sebou vyskytnout nejvýše tři trojkové symboly log.0. Vyskytne-li se skupina čtyř shodných dvojkových symbolů log.0 za sebou, pak je vyjádřena skupinou symbolů B00V nebo 000V. Symbol je V vždy vyjádřen impulsem, jehož polarita je shodná s předchozím. Symbol B má vždy opačnou polaritu než předchozí.

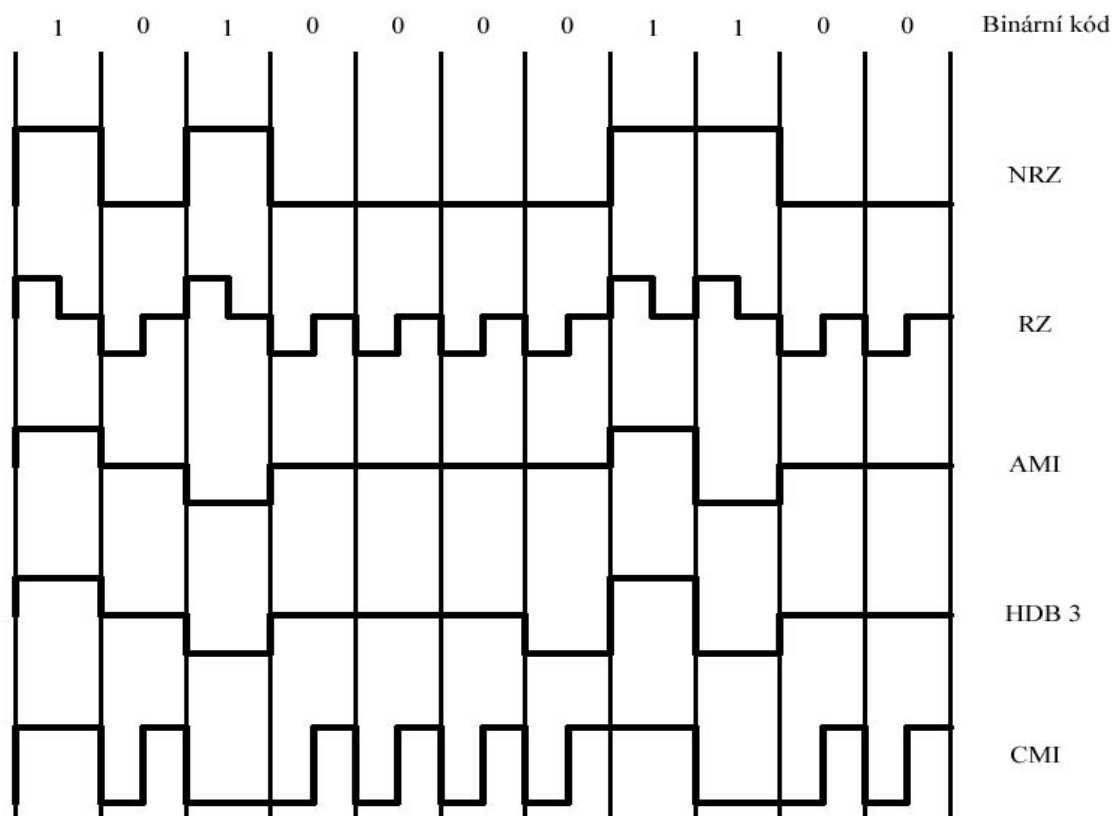
Pro přenos signálů vyšších řádů se často využívají kódy typu mBnB. Každé slovo o délce m bitů se pomocí definovaných pravidel překóduje na n bitové slovo ($n > m$). Jedním z mnoha zástupců těchto kódů je 1B2B. Jeho obdobou je kód CMI

2.5.5 CMI (Codec Mark Inversion)

Principem je vyjádření jedné ze tří kombinací používané kódem AMI pomocí dvojice bitů. Tím dostaneme pouze dvoustavový linkový kód, který je možno využít v optickém telekomunikaci

2.5.6 5B6B

Byl vybrán za optimální kód pro praktické použití. Kód převádí pětímístné bloky dvojkových symbolů na šestímístné. Výhodou kódu 5B6B oproti kódu CMI je, že přenosovou rychlost signálu nezvětšuje na dvojnásobek, ale pouze v poměru 6/5 oproti přenosové rychlosti původního signálu.



Obr. 2.5: Časové průběhy linkových kódů

3 PRVKY OPTICKÉHO PŘENOSU

Mezi prvky optického přenosu řadíme technické zařízení používané na trase pro distribuci signálu. Patří sem zdroj světla, převodník, zesilovač a detektor světla.

3.1 ZDROJE SVĚTLA

Zdroje světla jsou jednou z hlavních složek optického spoje. Používají se polovodičové zdroje, konkrétně pak luminiscenční diody (LED diody) označovány jako nekoherentní zdroje a laserové diody (LD) nebo-li koherentního zdroje.

Požadavky kladené na zdroje světla:

- účinnost převodu energie elektrické na optickou
- použití zařízení na vlnových délkách, kde útlum vláken je nejmenší
- použitelnost při pokojových teplotách
- snadná modulovatelnost, zejména pomocí napájecího proudu
- úzká směrová charakteristika zařízení
- jednoduchá návaznost generujícího zařízení na optické vlákno
- miniaturnost

Laserové diody nabízejí vyšší vyzařovací výkon, velmi dobrou vazbu na vlákno, možnost modulace do vyšších frekvencí (GHz) a malé rozměry. Mezi nevýhody LD patří vyšší požadavky na napájení, teplotní stabilizaci, jsou poruchovější a především dražší.

Pro méně náročnější optický přenos, na krátké vzdálenosti se používají LED zdroje. Naopak tam, kde je zapotřebí vysoký výkon na velké vzdálenosti, se sáhne po laserových diodách.[5][13]

3.1.1 Luminiscenční diody

Luminiscenční dioda je v propustném směru pólovaný přechod p-n. Pomocí energie, která vzniká při průchodu proudu diodou se vytvářejí páry elektron – díra. Vlnová délka vyzařovaného optického záření závisí na odstupu valenčního a vodivého pásma, vyjádřeného rozdílem energetických hladin. Volbou materiálu při výrobě tedy regulujeme a ovlivňujeme generovanou vlnovou šířku spektra.

Jelikož je impuls vyzařované energie LED diody širšího charakteru, je rozsah použití diod omezen z důvodu horší návaznosti paprsku na optické vlákno. [5][13]

3.1.2 Laserové diody

Funkce laserové diody je stejně jako funkce ostatních laserů založena na procesu stimulované emise. Samotný laser se skládá ze zesilovače světelné vlny a zpětnovazebního rezonátoru.

Vzájemným působením elektromagnetického pole a pevné látky vznikají různé druhy emisí, z nichž pro nás nejdůležitější je stimulovaná emise. Ta má za následek, že výsledné záření je koherentní.

Regulace vidů je pak zajištěna užitím tzv. Fabryho - Pierotovy dutiny. Což je jednorozměrný rezonátor, jímž se šíří optická vlna ve směru osy.

Vliv konstrukce LD ovlivňuje charakteristiku záření. Laserové diody vyzařují optický výkon z relativně malé plošky eliptického tvaru. Kruhová symetrie vyzařovaného svazku se pak docílí pomocí speciálních optických soustav.

Laserové diody se používají v různých technologických odvětvích. Známé je použití laserových tiskáren, čteček čárového kódu, laserových ukazovátek apod. Pro nás je však důležité využití LD v komunikacích. [5][10]

3.2 DETEKTORY SVĚTLA

Umožňují přeměnu optického výkonu na výkon elektrický. Detektory pracují tak, že při dopadu fotonů dojde k elektronovým přechodům uvnitř látky a vytvoří se pohyblivý elektrický náboj. Tím se vytváří měřitelný elektrický proud. Prvek umožňující tento převod se nazývá fotodioda.

Fotodioda je tvořena přechodem p-n. Dochází-li k absorpci fotonů, stoupá závěrný proud. Existují dva základní typy fotodiody; a to fotodioda PIN a lavinová fotodioda (APD).

Základními parametry pro výběr vhodného fotodetektoru jsou nejvyšší přenášený kmitočet, úroveň přenášeného kmitočtu a velikost šumu na výstupu detektoru. [5][13]

3.3 ZESILOVAČE

Jejich funkcí je zesílení signálu. Na rozdíl od opakovací nemusi být signál v zesilovači převeden do elektrické podoby. V optice se zpravidla používají dva druhy zesilovačů, a to vláknové zesilovače EDFA (Erbium Doped Fibres Amplification) a polovodičové zesilovače.

3.3.1 Vláknové zesilovače

Zesilovače se skládají z laserové pumpy a erbiem dopovaného optického vlákna. Laserová pumpa vyzařuje fotony vlnové délky 980 nm nebo 1480 nm. V dopovaném vlákně dochází k buzení atomů erbia na vyšší energetické hladiny. Tím dochází k zesílení přenášeného signálu až o 50 dB.[5]

3.3.2 Polovodičové zesilovače

Většina polovodičových laserových zesilovačů umožňují zesílení signálu v pásmu 1300 - 1550 nm. Jejich výhodou jsou jejich rozměry, tudíž se snadno implementují do optoelektronických integrovaných obvodů. Umožňují pracovat se šířkou pásma až 10 THz. Negativním rysem polovodičových zesilovačů je to, že mají často větší vazební ztráty, jsou teplotně nestabilní a citlivé na polarizaci záření.

Princip zesílení je následující. Dopadající fotony jsou absorbovány a tím se mohou generovat elektron-děrové páry, a nebo mohou produkovat dodatečné fotony. Pokud je emise výraznější nežli absorpce, pak vzniká optický zisk a materiál slouží jako koherentní optický zesilovač. [13]

3.4 PŘEVODNÍKY

Patří mezi základní prvky optického přenosu, jejich úkolem je transparentně převádět signál optický na elektrický a naopak. Obsahuje tedy jak detektor světla fungující při dopředném režimu přenosu (downstream), tak i laserovou diodu umožňující navázání signálu na optické vlákno při zpětném přenosu (upstream). [14]

Zařízení zajišťující konverzi signálu se často označuje jako MicroNode, používá se na straně účastníka, jenž využívá služeb technologie RFoG (Radio Frequency over Fiber) nebo HFC (Hybrid Fiber Coax). Převodník Micronode se instaluje přímo v budově či v domě zákazníka. Výstup tvoří koaxiální kabel s impedancí 75 Ω , pomocí něhož je signál přiveden do konkrétního koncového zařízení. [16][17][18]

Pro přenos informace se používá jednoho sdíleného optického média. Obousměrný přenos je umožněn použitím odlišných vlnových délek pro jednotlivý směr komunikace. Parametry vybraných převodníků jsou zobrazeny v tab. 3.1. Pro dopředný směr využívají zpravidla vlnové délky 1550 nm, kdežto v opačném směru pracují s délkou vlny 1310 nm. Důležitým faktorem z hlediska určení kvality převodníku je odstup signálu od šumu (S/N). Minimální hodnota byla stanovena organizací FCC (Federal Communications Commission) na úroveň 44 dB. Což všechny níže popsané převodníky splňují. Hodnotu S/N uvedené v tabulce jsou schopny zajistit při přijímané úrovni signálu -8 až -6 dBm. [5]

Převodníky pracují v tzv. Burst módu, což je režim při kterém operativně zapínají laser dle potřeby vysílání ve zpětném směru. Nejdříve koncové zařízení např. modem, vyšle do převodníku autorizační signál, jímž žádá laserovou diodu o zahájení vysílání. Reakční doba od příjmu režijních dat a začátkem vysílání je velmi důležitá. Nej kvalitnější MicroNode dosahují odezvy menší než 1,6 μ s.

Tab. 3.1: Parametry vybraných převodníků

Charakteristika	Alloptic MicroNode 101	DKT Omega AO 801	Rayvert RAY50
Optické rozhraní	SC/APC	SC/APC	SC/APC
Metalické rozhraní	75Ω coax.konektor „F“	PG11	75Ω coax.konektor „F“
Vlnová délka (dopředný směr)[λ]	1535 – 1565	1290 - 1600*	1290 - 1600*
Vlnová délka (zpětný směr)[λ]	1310 ± 50	1310 ± 10	1310 ± 10
Vstupní výkon [dBm]	-6 až 0	-6 až +2	-8 až 0
Rozsah frekvencí (dopředný směr)[MHz]	50 – 1100	47 – 862	47 - 862
Rozsah frekvencí (zpětný směr)[MHz]	5 – 42	5 – 65	5 - 35
S/N [dB]	48	52	52
Pracovní teplota [°C]	-40 až 65	-20 až 55	-20 až 55
Vlhkost [%]	5 až 95	0 až 100	5 až 85

*zahrnut rozsah vlnových délek i pro zpětný režim

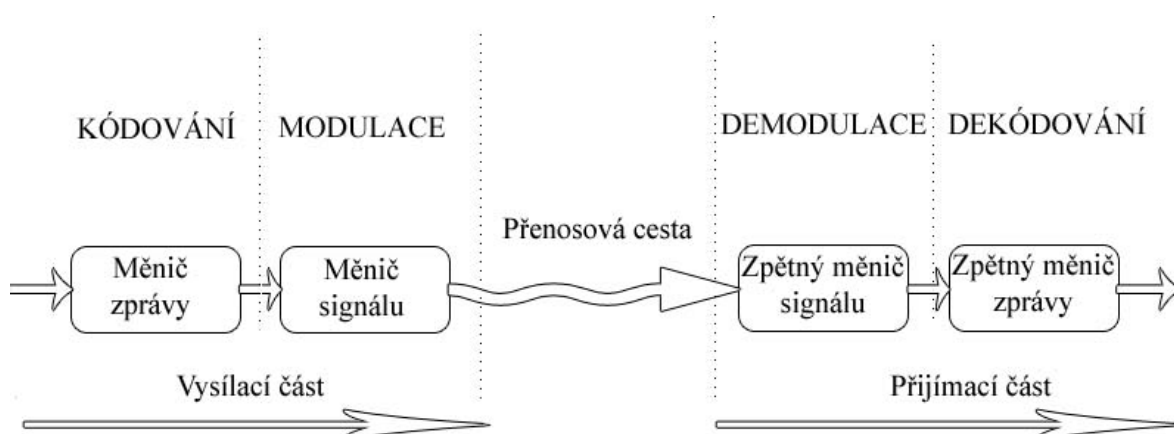
4 ANALOGOVÝ RADIOVÝ SIGNÁL

Analogový rádiový signál (RF) je souhrn všech frekvencí nesoucí užitečný signál. Pro přenos informace se využívá elektromagnetického vlnění o určitém kmitočtu.

4.1 ZÁKLADNÍ POZNATKY

Z fyzikálního hlediska platí, že čím je frekvence vyšší, tím je signál méně náchylnější na rušení, umožňuje vyšší kapacitu pro přenos informace a jeho průnik překážkami je daleko složitější. Rozdělení frekvencí je znázorněno v tab. 4.1. Základním schématem všech telekomunikačních přenosů je obecný sdělovací řetězec sestavený matematikem C.E.Shannonem roku 1955. Znázorněn je obr. 4.1. [19]

Vytvořený signál o nízké frekvenci (např. lidský hlas) by však vzhledem k rušení na trase přenosu bylo téměř nemožné přenést. Tudíž je potřeba využít tzv. přeloženého pásma. Užitečnou informaci pomocí modulace upravíme a posuneme do vhodného frekvenčního spektra, které bude na útlumy daleko méně náchylnější.[20] Modulovaný signál je pak připraven pro vysílací část ke svému dalšímu šíření.



Obr. 4.1: Obecný sdělovací řetězec

Rozeznáváme dva druhy kódování a to kódování zdrojové a kódování kanálové.

Zdrojové kódování – prvotní úprava signálu, zahrnuje zejména komprimační proces, kdy dojde k regulaci užitečné informace a tím ke snížení přenosové rychlosti. Cílem zdrojového kódování je tedy odstranění redundance (nadbytečná informace) a irelevance (nepodstatná informace). Uvádí se, že až 90 % lidského hlasu obsahuje redundanci.

Kanálové kódování – redundance se naopak přidává. Jedná se však o nadbytečnost žádanou, jelikož zabezpečuje daný signál proti chybám shlukovým (bajtovým) i bitovým vznikajícím při přenosu informace.

Modulace – proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu.

Na straně příjemce dochází k inverzním procesům v opačném pořadí oproti vysílací části. Rozdíl mezi informacemi vyslanou a detekovanou může být způsoben:

- nedokonalostí základních měničů
- nedokonalosti telekomunikačního kanálu
- interferencí v přenosovém médiu

Tab. 4.1: Rozdělení frekvenčních pásem[18]

Symbol	Značení ITU	Frekvenční rozsah	Metrické označení
ELF	1	3 – 30 Hz	Kilomyriametrové
SLF	2	30 – 300 Hz	Hektomyriametrové
ULF	3	300 – 3000 Hz	Dekamyriametrové
VLF	4	3 – 30 kHz	Myriametrové
LF	5	30 – 300 kHz	Kilometrové
MF	6	300 – 3000 kHz	Hektometrové
HF	7	3 – 30MHz	Dekametrové
VHF	8	30 – 300 MHz	Metrové
UHF	9	300 – 3000MHz	Decimetrové
SHF	10	3 – 30 GHz	Centimetrové
EHF	11	30 – 300 GHz	Milimetrové

5 RÁDIOVÝ SIGNÁL PŘENÁŠENÝ OPTICKÝM VLÁKNEM

Užitečný signál přenášený světelnými impulsy přímo se označuje zkratkou RFoG. Jedná se o způsob převodu elektrického signálu na signál optický, dále jeho distribuci a následně zpětný převod na signál elektrický.

5.1 OBECNĚ O SYSTÉMU

Signál lze distribuovat optickým přenosovým prostředím různými topologiemi. Rozdělují se podle vzdálenosti přeměny signálu od uživatele. [22]

FTTN – Fiber to the Node

Signál veden optickým vláknem, k jeho transformaci na signál elektrický dochází zpravidla i několik kilometrů před koncovým zařízením.

FTTC – Fiber to the Cabinet

Ke změně přenosového média dochází přibližně 300 m od zákazníka.

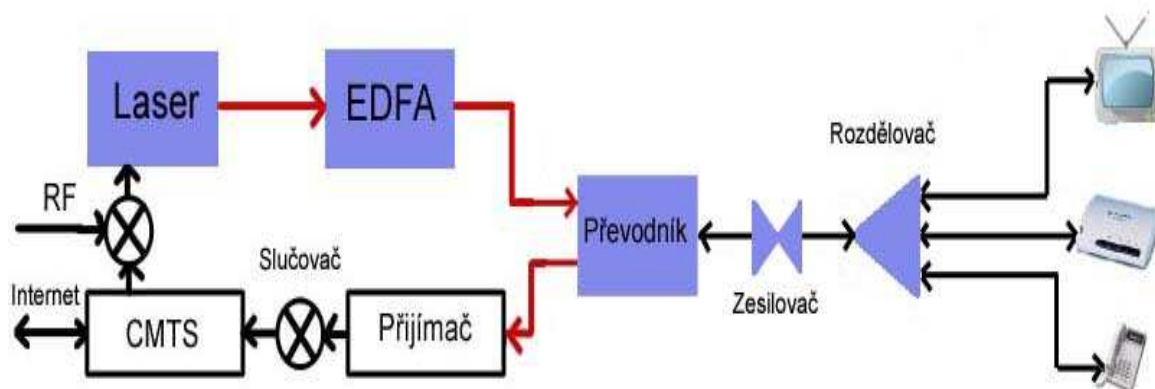
FTTB – Fiber to the Building/ Baseband

Z označení je patrné, že optický kabel je již zaveden do domu či budovy uložení konečného zařízení.

FFTH – Fiber to the Home

Jedná se o topologii, která zavádí optické vlákno přímo do bytu zákazníka, metalické vedení tedy odpovídá zpravidla jen několika jednotkám metru. Do této kategorie spadá systém RFoG.

RFoG je inovace, vylepšení sítě HFC, kde je koaxiální část rozvodu nahrazena optickým kabelem. HFC je rozšířený způsob distribuce optického signálu zejména poskytovateli kabelových televizí (CATV). Způsob distribuce signálu technologií HFC je znázorněn na obr. 5.1. Signál elektrický je zde označen šipkou černou, kdežto signál ve formě světelného paprsku znázorňuje šipka červená.



Obr. 5.1: Distribuce signálu pomocí HFC

RFoG je relativně nová technologie umožňující řadu výhod. Nejvýznamnější z nich je zachování kompatibility s již existujícími technologiemi, což rapidně ulehčuje nasazení a rozvoj této nové technologie.

Systém vyžívá odlišné vlnové délky pro dopředný kanál a zpětný kanál. Signál v dopředném režimu přenosu využívá vlnové délky 1550 nm, kdežto pro zpětný režim 1610 nm nebo 1310 nm. Z hlediska pozdější inovace je výhodnější použití délky 1610 nm, jelikož ve spektrální části 1310 nm již pracuje zpětný kanál v pasivních optických sítích PON (Passive Optical Network). Oba systémy, RFoG i HFC mohou paralelně fungovat ze stejného zprostředkujícího zařízení.[15]

Výhody RFoG oproti HFC

- Větší šířka pásma pro dopředný kanál. RFoG podporují 1GHz systémy a větší, což umožňuje bezproblémový přenos televizního signálu, hlasového hovoru či dat. Zprostředkovatel telekomunikačních služeb tedy může rozšířit poskytované služby. Např. přidání televizního kanálu, podporujících služeb atd.
- Větší šířka pásma pro zpětný kanál. Jelikož RFoG zlepšuje odstup šumu od užitečného signálu, může být celá šířka pásma zpětného směru využita pro přenos dat. Tento fakt je způsoben především použitím 64 QAM modulace, která zvyšuje šířku pásma oproti modulaci 16 QAM z původních 27 MHz na 38 MHz.

- Až o 90 % snížení nákladů spojených s údržbou systému oproti metalickému vedení. RFoG sítě nemají na přenosové trase aktivní elektroniku (uzly, zesilovače). Což přináší velkou úsporu energie. Napájení, záloha baterie či záchranný generátor jsou vyjmuty mimo část RFoG sítě. To znamená, že jsou poháněny ze strany uživatele.
- Zvýšení dosahu optického přenosu. Pro pasivní sítě PON, jenž je RFoG součástí, poskytuje norma dosah až 20 kilometrů za použití pasivních konstrukčních částí. Zatímco HFC sítě vyžadují zesilovače každých přibližně 300m.
- RFoG poskytuje menší útlum. Systému HFC zesiluje jak signál, tak i šum na všech zesilovačích. RFoG má jen jeden zesilovač, což má za následek snížení útlumu.
- Vlákno je více spolehlivější než měď (odpadá vliv vlhkosti, teploty, koroze).
- RFoG umožňuje přidání dalších služeb.
- Všechny služby jsou distribuovány pomocí jednoho vlákna.
- Minimální zásahy do krajiny. Menší kabely a zařízení v porovnání s HFC sítí.

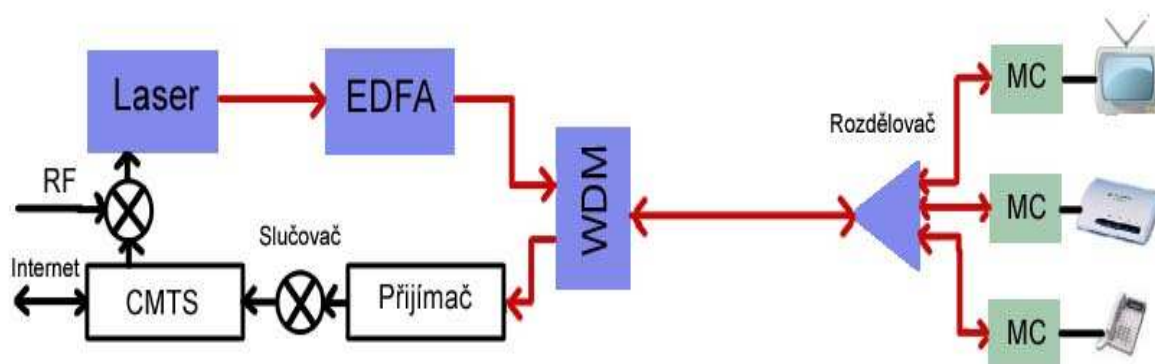
5.2 PŘENOSOVÝ SYSTÉM

Při přenosu optickým vláknem je kladen důraz na co nejširší rozsah využití optického kabelu. Z uvedeného hlediska tuhle podmínku nejlépe splňuje právě RFoG. Při přenosu signálu je zde použito metalického vedení jen ve velmi omezené míře, řadově několik metrů. Což je v dnešní době požadováno, jelikož tím odpadá riziko spojené s možností interferencí a odposlechu.

Společnosti zabývající se vybudováním systému RFoG se především zaměřují na vznikající stavební lokality, a to jak rodinného typu, tak průmyslového, kde mohou topologii RFoG uplatnit při nově budovaných inženýrských sítích. Zde se zavedení jeví jako nejefektivnější. Odpadnou tak náklady spojené s pozdějším přechodem na optické účastnické vedení.

Cena vybudování je závislá na hustotě osídlení. Pokud se jedná o větší města, tak z ekonomického pohledu vychází jako levnější alternativa HFC. Naopak v řídké obydlených částech je výhodnější nasazení systému RFoG, náklady se sníží z důvodu nepotřebnosti aktivních elektronických prvků na trase.

RFoG umožňuje přenos datových služeb (Internet), televizního signálu a IP telefonie. Důležitým prvkem telekomunikačního systému je zařízení CMTS (Cable Modem Termination System). Hlavní funkcí zařízení je modulace dat z ethernetového rozhraní do sítě kabelového internetu. V zařízení dochází ke slučování dvou kmitočtově oddělených kanálů (dopředný a zpětný směr) a přidání TV kanálů podle předem schváleného kmitočtového plánu. Schéma technologie RFoG je znázorněno na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Distribuční řetězec RFoG

5.2.1 Dopředný směr

Radiový signál zahrnující televizní kanály, hlasové služby a data je na straně zprostředkovatele převeden na signál optický, který je dále zesílen zařízením EDFA a přiveden do vlnového multiplexoru. Viz obr. 5.2. Multiplexor umožňuje na jednom přenosovém vlákně použití různých vlnových délek. Je tak umožněno rozšířit kapacitu média nebo provést obousměrnou komunikaci na jednom optickém vlákně, čehož se právě u systému RFoG využívá (1550 nm při dopředném směru, 1610 či 1310 nm ve zpětném směru).

Signál je dále šířen optickým kabelem bez nutnosti opakovače až do vzdálenosti 20 km, kde je pomocí rozdělovače (anglicky splitter) dělen na jednotlivé signály dle počtu uživatelů (max.32). Na straně koncového zákazníka pak dojde k převodu signálu optického na elektrický použitím zařízení zvaného MicroNode. Viz kapitola 3.4. Toto zařízení je přijímačem i vysílačem optického signálu zároveň. Výstup z MicroNodu je opatřen koaxiálním kabelem a veden přímo do konkrétního zařízení (TV, IP telefon, počítač).

Maximální výkon, jdoucí vysílačem do optického vlákna, je 18 dBm. Největší dovolený útlum na trase činí 24 dB, z toho plyne, že převodníky jsou schopny zpracovat vstupní signál jehož hodnota dosahuje alespoň -6dBm.

Převodníky MicroNode pracují se signály v rozmezí 88 – 1100 MHz, poskytnutá šířka pásma je tedy 1022 MHz. Systém HFC nabízí při zpracování šířku pásma pouze 782 MHz.

5.2.2 Zpětný směr

Při zpětném režimu komunikace je úkolem Micronode zařízení zajistit převod elektrického signálu na optický a navázání do přenosového vlákna. Musí tedy obsahovat jak část se světelným detektorem, tak i vysílací část – laserovou diodu. Procesor v zařízení monitoruje a vyhodnocuje komunikaci a pomocí integrovaných obvodů přepíná svou funkci na přijímač nebo vysílač.

Důležitým parametrem Micronode zařízení je doba reakce mezi přijatým signálem a začátkem vysílání. Nejmodernější zařízení dosahují doby odezvy nižší než 1,5 μ s.

Nejvyšší hodnota šumu je způsobena připojením koncového zařízení, (kabelový modem, set-top box) i když momentálně nevysílá žádný signál. Tehdy se zařízení chová jako anténa sbírající všechny šum ve svém okolí. Tento nežádoucí stav je ovšem potlačen v technologii RFoG a to zejména použitím MicroNodu pracujících v Burst režimu. Důsledkem je nižší šum přidaný do přenosu. To umožňuje zvýšení přenosového pásma o 10 MHz oproti systému HFC. Převodní zařízení pracuje ve zpětném režimu se šířkou pásma 60 MHz.[14]

5.3 VYUŽITÍ

Jelikož systém RFoG přináší celou řadu výhod oproti předcházejícím typům distribuční optické sítě, tak své uplatnění nachází již nyní. Kabelové společnosti postupně přecházejí na optickou metodu distribuce svých služeb, projekty jsou však především menšího rozsahu. Důvodem je poměrně stále vysoká cena optického kabelu a s ním spojených technologických zařízení. Ceny optických technologií však neustále klesají, budoucnost tedy patří právě této formě přenosu dat.[14]

Největší uplatnění RFoG je prozatím u kabelových operátorů, jimž použití této technologie umožňuje nasazení kvalitnějších a pro zákazníka výhodnějších služeb. Jelikož je dnešní uživatel poměrně náročný na kvalitu poskytovaných služeb, získávají takhle společnosti konkurenční výhodu.

Kabelová televize (CATV) poskytuje širokopásmový přenos, tudíž je vhodná i pro implementaci datových služeb. Radiový signál šíření technologií RFoG zpravidla zahrnuje televizní vysílání, datové služby a hovorový signál. Tento multimediální balíček je často poskytovateli označován jako Triple play. Komplet je finančně výhodnější než aktivace jednotlivých služeb. Proto v poslední době je stále populárnější, což koresponduje s rozvojem zavedení optických sítí až do domu (FTTH).

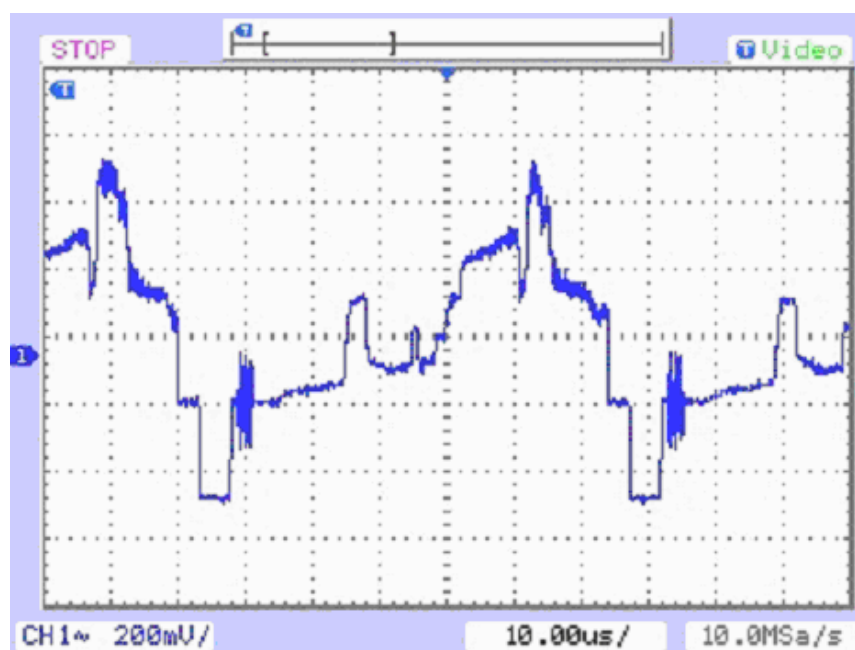
Vzhledem k maximálním frekvenčním možnostem optických převodníků (až 1 GHz), je šířka přenosového pásma pro výše uvedené služby plně dostačující.

Dalším možným odvětvím ve kterém se RFoG uplatňuje je bezpečnostní technika. Při nevznikajícím magnetickém a elektrickém poli při přenosu je totiž možnost odposlechu značně komplikovaná, což je v bezpečnosti zásadná otázka. Příkladem může být monitorování strategicky významného, či jiným způsobem důležitého místa a jeho následnou distribucí pomocí optického vlákna. Při minimalizaci použití metalického vedení je pak splněna podmínka bezpečného přenosu. Své uplatnění tak RFoG nachází ve vojenství, v bankovním sektoru, v bezpečnostních agenturách atd.

6 NÁVRH OPTICKÉHO PŘENOSOVÉHO SYSTÉMU

Cílem je realizace optického systému simulujícího distribuci analogového barevného video signálu optickým vláknem. Systém se tedy skládá ze dvou modulů, a to z vysílače a přijímače optického signálu. Pro generování analogového video signálu byl zvolen digitální fotoaparát OLYMPUS FE - 210. Produkuje signál normy PAL (Phase Alternating Line) napěťové hodnoty přibližně 1 V_{P-P}. Průběh signálu zachyceného osciloskopem je znázorněn na obr. 6.1.

Signál se moduluje pomocí frekvenční modulace a ve formě světelných paprsků přiveden optickým vláknem do přijímače. Ten detekuje přijímané světelné impulsy. Následnou demodulací se získá původní signál, jenž je veden do koncového zobrazovacího zařízení. Zrealizován je přenos pouze obrazového signálu, změnou zapojení by však byla možná distribuce i doprovodného zvukového signálu. Praktické uplatnění navrhovaného optického systému shledávám především pro přenos signálu z bezpečnostních monitorovacích kamer.



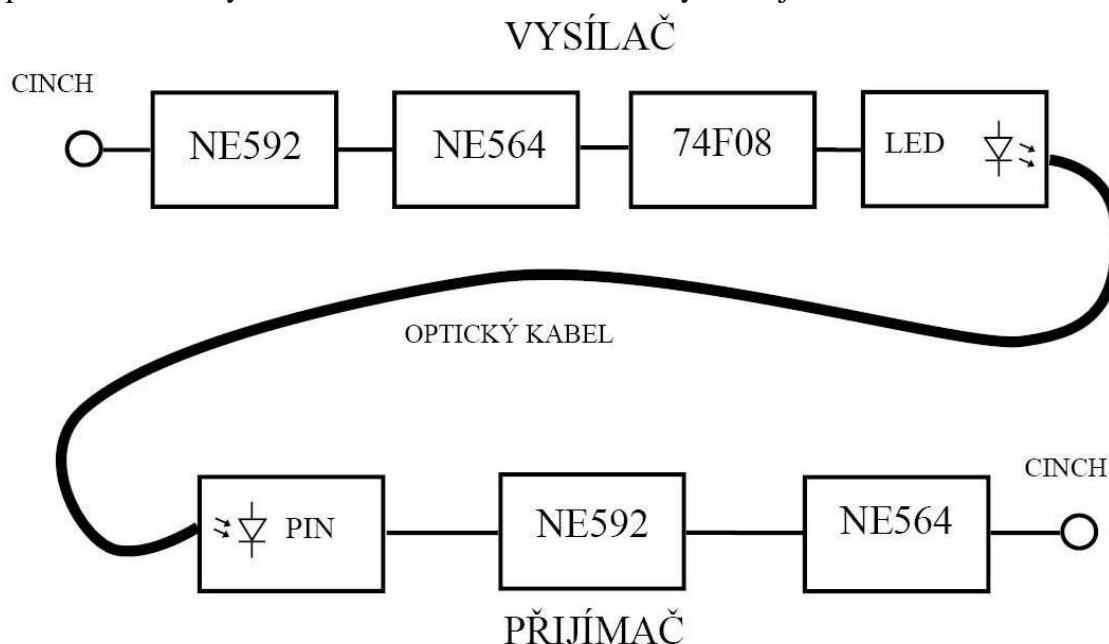
Obr. 6.1: Výstupní signál z fotoaparátu

6.1 VOLBA ŘEŠENÍ

Při návrhu a realizaci optického přenosového systému jsem vycházel ze schématu, který byl uveden v [23].

Důležitým prvkem při návrhu bylo zvolení druhu modulace pomocí níž budeme ovlivňovat nosnou frekvenci vstupním signálem. Viz kapitola 2.4. Z nabízených možností pro přenos video signálu – frekvenční a amplitudová modulace – jsem zvolil modulaci frekvenční. A to zejména z důvodu omezené náchylnosti vůči lineárnímu zkreslení a lepším šumovým vlastnostem. Jelikož je informace přenášena v měnící se frekvenci, nebude mít detekovaná amplituda vliv na obnovení původního signálu. Není tedy potřeba

velkého přijímacího signálu. Podmínkou je však zajištění dostatečného signálu pro detekci pomocí PIN diody. Blokové schéma navrhovaného systému je na obr. 6.2.



Obr. 6.2: Blokové schéma optického systému

Pro realizaci bylo použito nejprve diskrétních elektrických součástek. Po odzkoušení funkčnosti zapojení obvodu byla následně zvolena kombinace součástek diskrétních a zejména součástek v provedení SMD (Surface Mount Technology). Pro napájení prvků je potřeba stejnosměrné napětí +5 V u vysílače a +8 V u přijímače. Zesilovací člen NE592 pro svou funkci vyžaduje i záporné napětí -1,8 V. Potřebná napětí jsou získána pomocí stabilizátoru napětí 7805, respektive 7808.

Jako modulátor i demodulátor signálu slouží integrovaný obvod NE564. Jedná se fázový závěs umožňující pracovat s frekvencí do 60 MHz. Integrovaný obvod byl zvolen pro svou cenovou nenáročnost a dostupnost.

Pro zesílení vstupního signálu byl zvolen video zesilovač NE592. Poskytuje dostatečné zesílení. Umožňuje zpracovávat frekvence do 120 MHz. Světelný signál je generován pomocí LED diody, která je umístěná ve vysílacím pouzdře. Díky pouzdru je zajištěno dobré navázání světelného paprsku do optického vlákna. Při krátkém přenosu je použití LED diody plně dostačující.

K následnou detekci signálu je použito pouzdro obsahující citlivou PIN diodu SFH203. Jako přenosové médium byl zvolen komerčně dostupný mnohavidový optický kabel s konektory Toslink.

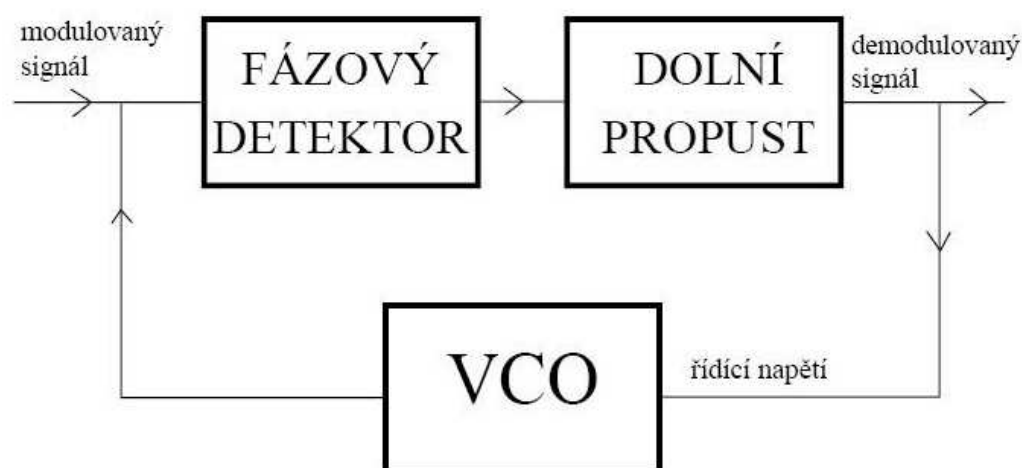
Výchozí schéma pro tvorbu převodníku je poměrně obecné, je tedy potřeba určité modifikace. Ta je způsobena i nedostupností některých integrovaných obvodů na tuzemském trhu. Ve schématu *A phase locked fiber optic system using FM modulation* jsou znázorněny obvody i pro zvukovou část přenosu. Jako alternativa pro zesilovací budič světelného signálu je namísto integrovaného obvodu NE522 použit obvod 74F00, který obsahuje 4x hradlo NAND, v zapojení je však využito jen dvou hradel.

Předzesilovač – transimpedanční zesilovač přijímacího signálu NE5212A je nahrazen video zesilovačem použitým ve vysílači, a to NE592. Koncový stupeň přijatého signálu je zesílen bipolárním tranzistorem, na rozdíl od obvodu NE5539 použitého v dostupném schématu.

Vstupní signál je přiveden pomocí konektoru CINCH, který tvoří i výstup u přijímače. Daný typ konektoru byl zvolen pro svou rozšiřitelnost, jelikož většina zařízení právě umožňuje propojení pomocí tohoto konektoru.

6.2 POPIS NE564

Integrovaný obvod NE564 je rychlý fázový závěs umožňující zpracovávat frekvence do 60 MHz, což byl rozhodující faktor při výběru modulátoru signálu. V navrhovaném zapojení se jedná o základní prvek pro návrh vysílače i přijímače. Pomocí NE564 se totiž signál moduluje i demoduluje. Výhodou fázového závěsu je především jeho dobrá linearita. Fázový závěs patří mezi hojně využívané obvody v mnoho odvětvích elektroniky. Skládá se ze 3 hlavních součástí. A to fázového detektoru, dolní propusti a napětím řízeného oscilátoru – VCO (Voltage Controlled Oscillator). Schéma fázového závěsu je znázorněno na obr.6.3 [24]



Obr. 6.3: Schéma fázového závěsu

Principem fázového závěsu je pomocí zpětné vazby doladovat frekvenci napětím řízeného oscilátor (VCO) na frekvenci vstupního modulovaného kmitočtu. Na vstup fázového detektoru je přiveden frekvenčně modulovaný signál. Stejně tak i výstupní signál z napětím řízeného oscilátoru. Cílem fázového detektoru, označovaného jako komparátoru, je přicházející signály frekvenčně (fázově) porovnat a vyhodnotit. Při rozdílné frekvenci vstupních signálů je na výstupu komparátoru generováno stejnosměrné napětí, sloužící k řízení VCO. Tím je docíleno automatického doladování na požadovanou frekvenci modulovaného signálu. Generované stejnosměrné napětí je úměrné kmitočtu vstupního signálu, dostáváme tedy již na výstupu fázového detektoru požadovaný demodulovaný signál. Fázový komparátor negeneruje žádné stejnosměrné napětí, je-li frekvence vstupních signálů shodná. Pro omezení vyšších harmonických složek je za komparátorem použit obvod dolní propusti. Viz literatura [24].

6.3 POPIS FUNKCE VYSÍLAČE

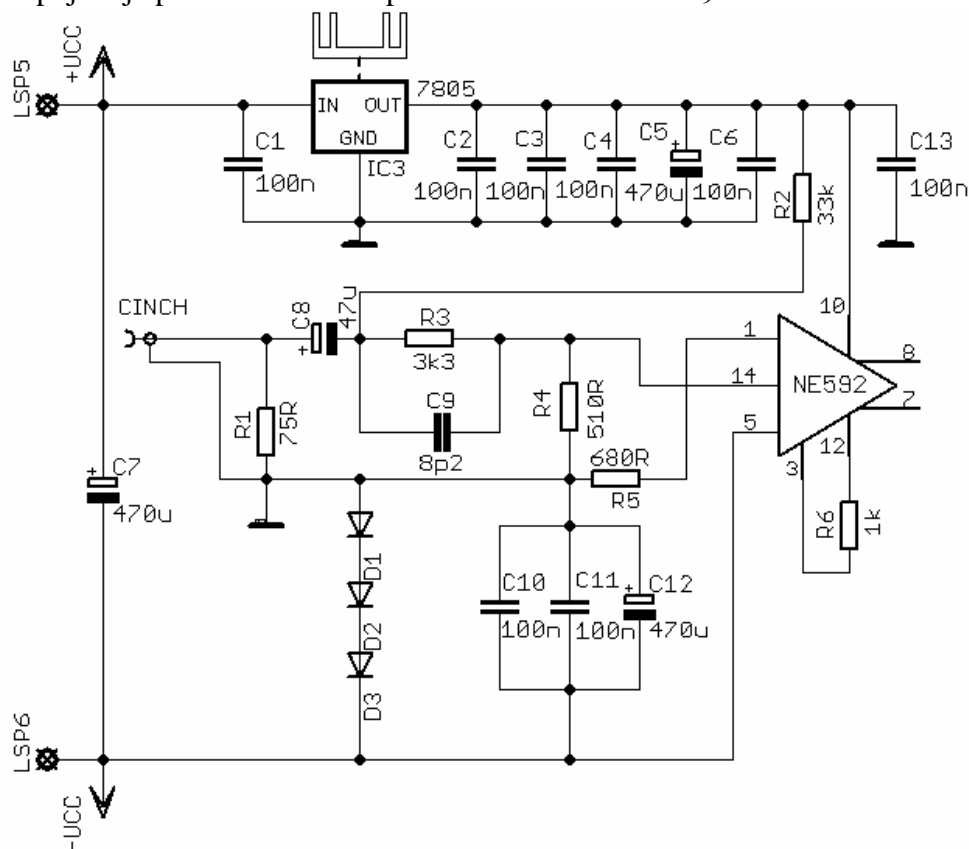
Vysílač je dle výchozího popisu přizpůsoben pro přenos analogového televizního signálu do vzdálenosti přibližně 2,5 km. Navrhované zapojení však bylo simulováno jen na komerčně dostupném polymerovém optickém kabelu délky 3 m. Kabel je mnohavidový s přípojnými konektory označovány jako TOSlink. Propojování konektory TOSlink je velmi rozšířené v audio technice.

6.3.1 Popis schématu

Vysílač se skládá z širokopásmového video zesilovače NE592, modulátoru NE564 a proudového budiče signálu LED diody 74F00. Parametry a vnitřní schémata integrovaných obvodů jsou obsaženy v dokumentech popisujících jejich vlastnosti (technická dokumentace). Schéma zapojení vysílače je obsaženo v příloze A.1.

Signál je přiveden do vysílačského zařízení pomocí konektoru RCA (Radio Comporation of America), který je spíše známý pod pojmem CINCH, jenž označuje standard připojení. Schéma vstupní části vysílače včetně zapojení videozesilovače je znázorněno na obr. 6.4.

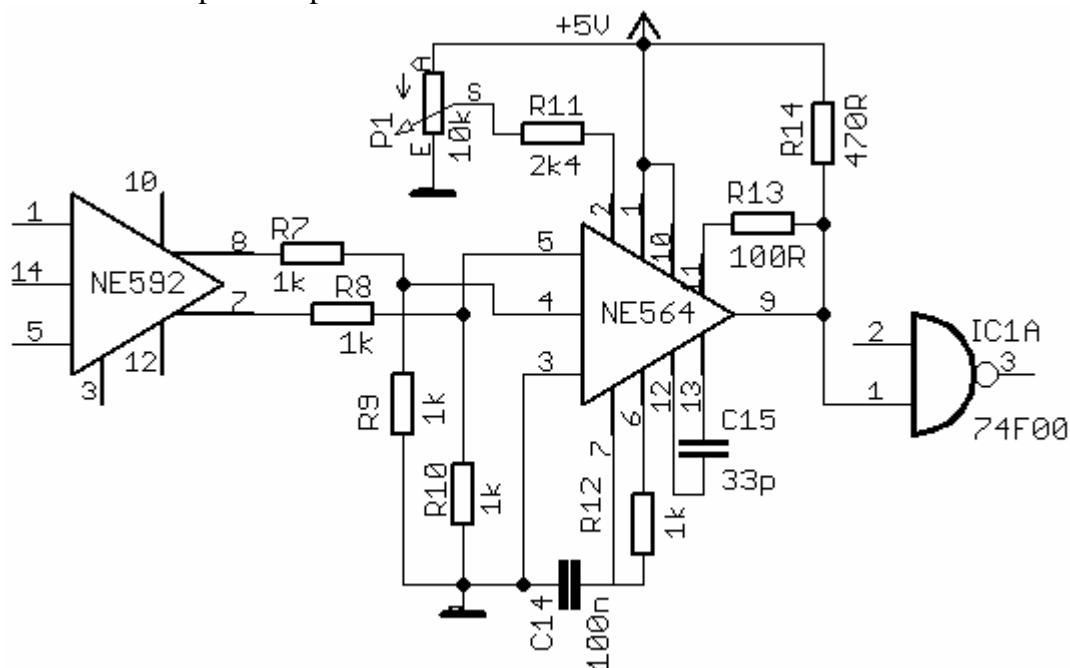
Vstup signálu do vysílače zajišťuje konektor CINCH o impedanci $75\ \Omega$. Impedanční přizpůsobení představuje odpor R_1 . Kondenzátor C_8 slouží pro odstranění stejnosměrné složky. Posunutí vstupního signálu nad referenční nulovou úroveň zajistí odpor R_2 připojený na napájecí napětí. Před vstupem signálu do videozesilovače NE592 je přidán obvod preemfáze, zajišťující zvýraznění vyšších kmitočtů a k potlačení vlivu šumového signálu. V zapojení je preemfáze řešena pomocí kondenzátoru C_9 .



Obr. 6.4: Vstupní část zapojení

Úroveň vstupního signálu $1\text{ V}_{\text{P-P}}$ je děličem napětí (rezistor R_3 a R_4) snížena na hodnotu přibližně $135\text{ mV}_{\text{P-P}}$. Napájení integrovaného obvodu je řešeno $+5\text{ V}$ přivedených na pin 10. Záporná větev napětí $-1,8\text{ V}$ je propojena s pinem 5. Potřebných $-1,8\text{ V}$ je získáno pomocí diod D_1 až D_3 zapojených sériově proti zemi. Nesignálové kondenzátory (C_1 až C_7 a C_{10} až C_{12}) mají v zapojení společnou funkci a tou je blokování. Zabraňují šíření impulsů do jiných částí vedení.

Zesílení NE592 je přibližně $4\times$ a je dáno hodnotou rezistoru R_6 připojeného mezi piny 3 a 12. Druhý vstup do zesilovače, pin 14 je uzemněn. Zesílené napětí odebíráme z pinu 8 a 7. Zapojením odporů R_7 a R_9 (respektive R_8 a R_{10}) jako děliče napětí docílíme poloviční úrovně vstupního napětí modulátoru NE564. Obr. 6.5.



Obr. 6.5: Schéma zapojení modulátoru NE564

Velikost modulačního napětí je přibližně $270\text{ mV}_{\text{P-P}}$. Pro modulaci je optimální velikost signálu 250 až $300\text{ mV}_{\text{P-P}}$. Rozsah napětí musí být striktně dodržen, bude-li vstupní napětí přiváděné do modulátoru příliš vysoké, dojde k přemodulování signálu a tím k znehodnocení obrazového signálu. Možné řešení k zabránění přemodulovatelnosti signálu je přidání obvodu AGC (Automatic Gain Control) do zapojení. Jeho funkcí je řízení zesílení přijímaného signálu. Popisovaný problém souvisí s frekvenční odchylkou, této problematice se bude věnováno v další podkapitole.

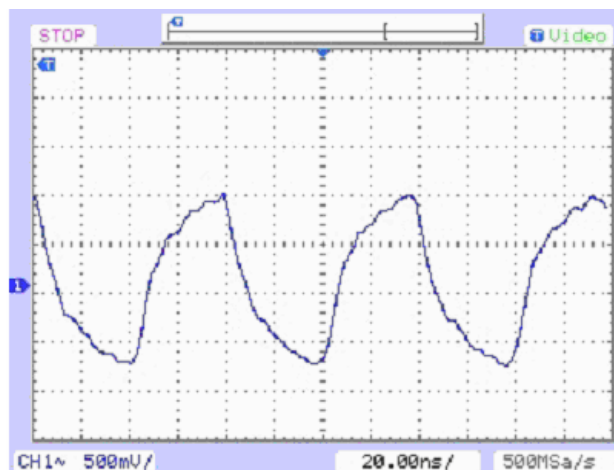
V integrovaném obvodu NE564 využíváme pouze napětím řízeného oscilátoru k modulaci signálu na nosnou frekvenci. Schéma zapojení modulátoru je znázorněné na obr. 6.5. Pomocí diferenčního napětí přivedeného na piny 4 a 5 ovlivňujeme kmitočet nosného signálu. Signál je modulován na střední kmitočet f_0 , který je určen hodnotou kapacity C_{15} připojené mezi piny 12 a 13. Dle datasheetu dostupného k NE564 byla hodnota nosného kmitočtu stanovena

$$f_0 = \frac{1}{22 \cdot R_C \cdot C_{15}} = \frac{1}{22 \cdot 100 \cdot 33 \cdot 10^{-12}} = \frac{1}{0,0000000726} \cong 13774104 (\text{Hz}; \Omega, \text{F}), \quad (6.1)[25]$$

kde R_C značí vnitřní rezistor modulátoru. $R_C = 100\ \Omega$. Obvod NE564 je napájen stejnosměrným napětím $+5\text{ V}$ přivedeným do pinu 1 a do pinu 10. Nastavení frekvenčního zdvihu je docíleno pomocí potenciometru P_1 připojeného přes odpor R_{11} k pinu 2. Rezistor

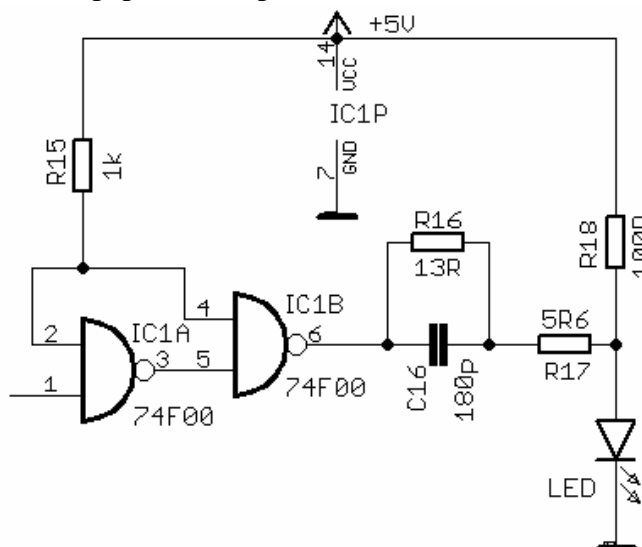
R_{12} spolu s kondenzátor C_{14} (pin 6 a pin 7) plní funkci dolní propusti obvodu NE564. Jeho zapojení je vyžadováno výrobcem [25].

Nosný signál o kmitočtu 13,7 MHz se mění dle vstupního napětí a je odebrán z pinu 9. Osciloskopem je jeho průběh znázorněn na obr. 6.6. Modulovaný signál je připojen přes rezistor R_{14} na napájecí napětí +5 V. Úkolem odporu R_{13} připojeného k pinu 11 je zajistit zlepšení vlastností sestupné hrany výstupního signálu.



Obr. 6.6: Průběh nosného signálu o kmitočtu 13,7 MHz

Signál je dále veden do integrovaného obvodu 74F00 [26], sloužící jako proudový budič LED diody. Obsahuje čtyři hradla NAND. V schématu zapojení jsou pro přehlednost znázorněny pouze hradla, které jsou používány (IC1A a IC1B). Viz obr. 6.7. Pin 7 je uzemněn a pin 14 slouží pro přívod napájecího napětí. Nepoužité vstupy hradel jsou ošetřeny připojením přes odpor R_{15} na napětí +5V. Úkolem obvodu 74F00 je vytváření signálu a především proudové zesílení. Výstup z hradla je přes rezistory R_{16} a R_{17} veden na anodu LED diody. Kondenzátor C_{16} zvýší strmost hran budícího signálu. Odpor R_{18} je srážecí odpor, omezující přiváděné napájecí napětí na diodu LED 5MM RED 15000/80°. Maximální proud protékající uvedeným typem je 120mA. Dioda emituje záření o vlnové délce 620 nm o maximálním výkonu 0,5 W. Pouzdro, ve kterém je LED obsažena zajistí korektní navázání světelného paprsku do optického kabelu.



Obr. 6.7: Koncový stupeň vysílače

6.3.2 Frekvenční zdvih

Je důležitý požadavek při návrhu frekvenčního modulátoru. Frekvenční zdvih Δf vyjadřuje maximální možnou změnu kmitočtu nosné, značí tedy rozdíl mezi maximálním a minimálním kmitočtem. Polovina této hodnoty je nazývána frekvenční odchylka. Viz literatura [27]. Frekvenční zdvih je dán konstantou úměrnosti k a velikostí vstupního napětí U .

$$\Delta f = k \cdot U \text{ (Hz; Hz} \cdot \text{V}^{-1}, \text{ V)}. \quad (6.2) [27]$$

Konstanta úměrnosti k odpovídá velikosti přiváděného proudu do pinu 2 modulátoru NE564. Ten je nastaven pomocí potenciometru na hodnotu přibližně 500 μA .

Graf, znázorňující převodní charakteristiku, je v literatuře [23]. Pomocí ní byla vypočítána směrnice přímky

$$k' = \left[\frac{(1,7 - 0,95) \cdot 500}{2.800} + 0,95 \right] = 1,18 \text{ (MHz} \cdot \text{V}^{-1}), \quad (6.3) [23]$$

kde výsledek značí hodnotu při frekvenci nosného kmitočtu 1 MHz. Ze vztahu je patrné, že se zvyšujícím se proudem roste konstanta úměrnosti. Ta je lineárně závislá na frekvenci nosného signálu. Předpokládáme pro námi popisované schéma kmitočet harmonického nosného signálu přibližně $f_{vco} = 13,78 \text{ MHz}$, pak výsledná konstanta úměrnosti je rovna

$$k = k' \cdot f_{vco} = 1,18 \cdot 13,78 = 16,26 \text{ (MHz} \cdot \text{V}^{-1}; \text{ MHz} \cdot \text{V}^{-1}, \text{ MHz)}. \quad (6.4) [23]$$

Při uvažovaném vstupním napětí přibližně 270 mV_{P-P} – čemuž odpovídá napětí $U = 0,135 \text{ V}$ a dosazením vzorce (6.4) do vzorce (6.2) získáme výsledný frekvenční zdvih

$$\Delta f = k \cdot U = 16,26 \cdot 0,135 = 2,2 \text{ (MHz; MHz} \cdot \text{V}^{-1}, \text{ V)}. \quad (6.5)$$

Z výše uvedených vztahů je patrná důležitost správného nastavení vstupního proudu. Jeho korektní hodnota je nezbytná pro správnou funkci celého přenosového systému. Jelikož ovlivňuje výsledný frekvenční zdvih a s ním související šířku pásma přenášeného signálu.

6.3.3 Šířka pásma signálu

Šířka pásma přenášeného signálu značí rozdíl mezi maximálním a minimálním modulovaným kmitočtem. Byla stanovena dle Carsonových odhadů, kde B značí velikost přenášeného pásma, Δf udává kmitočtový zdvih a F_{max} určuje maximální frekvenci modulačního signálu. Ta je pro televizní normu PAL 4,43 MHz.

$$B = 2(\Delta f + F_{max}) \text{ (Hz; Hz, Hz)} \quad (6.6) [28]$$

Po dosazení hodnoty frekvenčního zdvihu z rovnice (6.5) a hodnoty maximální frekvence modulačního signálu získáme potřebnou šířku pásma pro nezkrácený přenos

$$B = 2(\Delta f + F_{max}) = 2(2,2 + 4,43) = 13,26 \text{ (MHz; MHz, MHz)}. \quad (6.7)$$

Index modulace β je definován vztahem

$$\beta = \frac{\Delta f}{F_{max}} \text{ (-; Hz, Hz)}, \quad (6.7) [28]$$

kdy po dosazení již spočtených hodnot získáme index modulace

$$\beta = \frac{\Delta f}{F_{max}} = \frac{2,2}{4,43} = 0,51 \text{ (-; MHz; MHz)}. \quad (6.8)$$

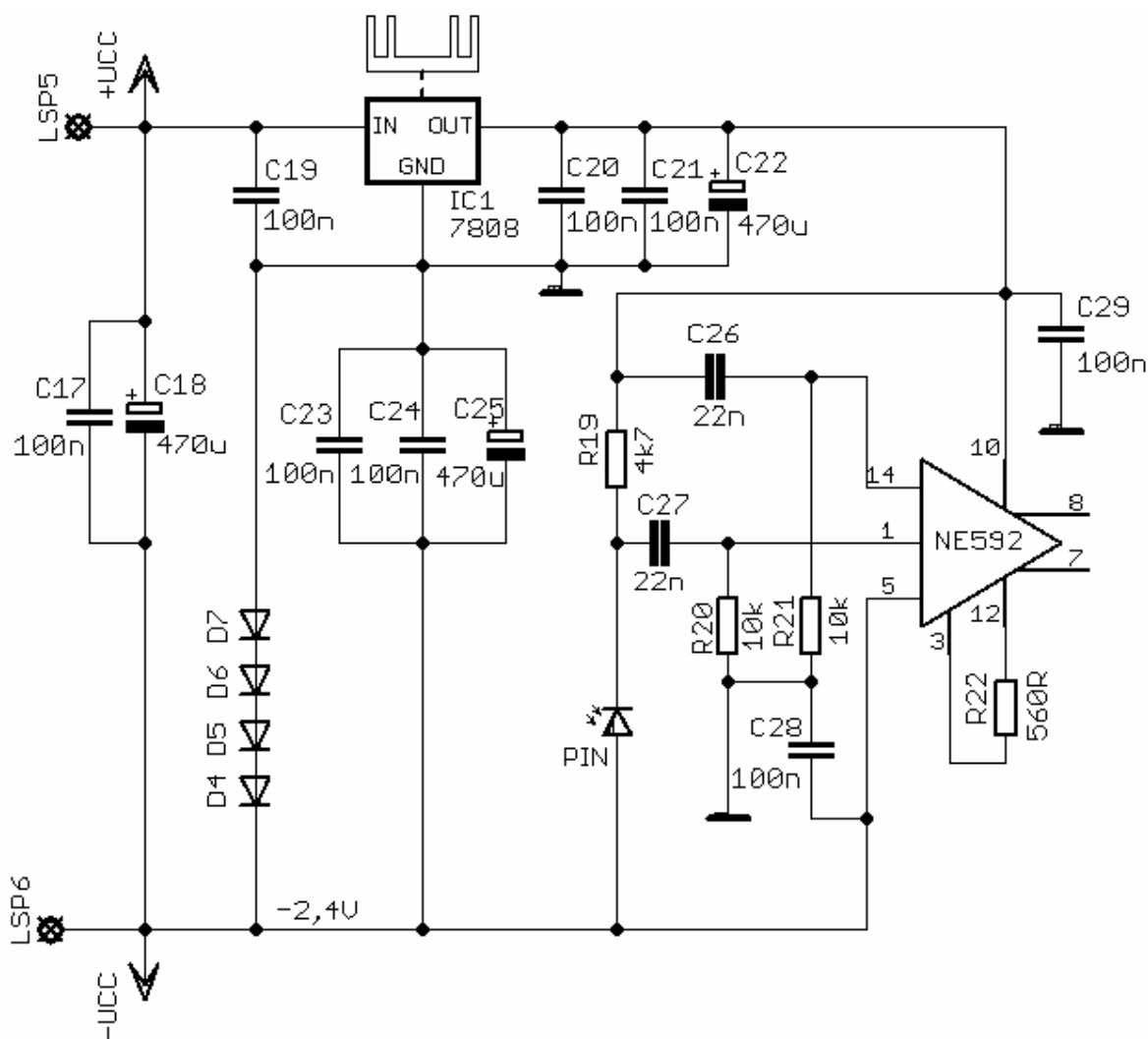
Pokud je index modulace nižší než jedna ($\beta < 1$), pak se jedná o modulaci úzkopásmovou a vzorec pro šířku přenášeného signálu (6.6) přechází v $B \cong 2 \cdot F_{max}$. Více v literatuře [28]. Výsledný frekvenční zdvih je pro širokopásmový přenos televizního signálu příliš malý, tudíž byl zvolen příjem signálu na druhé harmonické nosné. Využitím druhé harmonické složky se frekvenční zdvih stejně jako šířka pásma spektra zvětší na dvojnásobek

$$B = 2 \cdot 2(\Delta f + F_{max}) = 2 \cdot 2(2,2 + 4,43) = 26,54 \text{ (MHz; MHz, MHz)} \quad (6.9)[23]$$

6.4 POPIS FUNKCE PŘIJÍMAČE

Informace ve formě světelného paprsku je snímána pomocí PIN diody SFH203. Dioda je schopna snímat světlo v rozmezí 400 až 1100 nm. Funkce diody PIN je transformace signálu optického na elektrický proud, odpovídající intenzitě přijímaného paprsku. Pro nezkreslený příjem je zapouzdřena v konektoru pro optický kabel TOSlink. Schéma zapojení vysílače je znázorněno v příloze A.2.

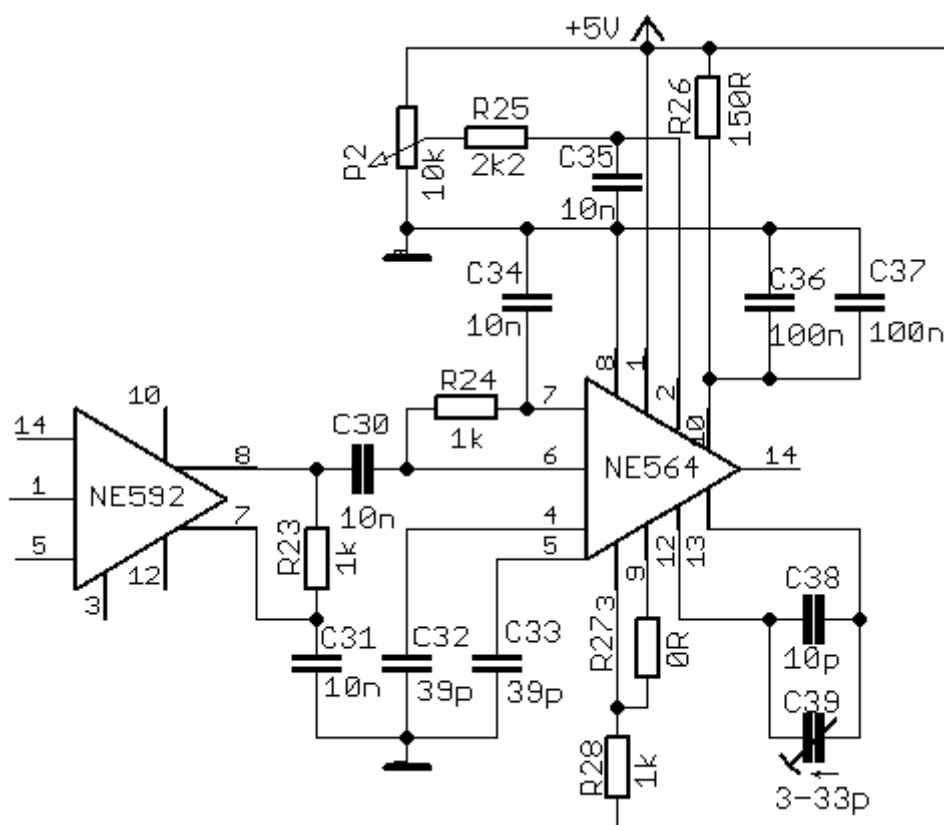
Kondenzátory C_{17} až C_{22} jsou blokovací, zabráňují šíření impulsů do jiných částí přijímače. Viz obr. 6.8. Dioda generuje proud, který vytváří úbytek napětí na rezistoru R_{19} . Úbytek napětí je diferenčně snímán přes kondenzátory C_{26} a C_{27} . Jejich funkcí je odstranění stejnosměrné složky. Rezistory R_{20} a R_{21} připojené proti zemi definují stejnosměrnou hodnotu na vstupech obvodu NE592. Zapojení C_{26} a R_{21} (resp. C_{27} a R_{20}) slouží zároveň jako horní propust. Obvod je napájen +8 V přivedených na pin 10 a záporným napětím -2,4 V přes pin 5. Záporné napájecí napětí -2,4 V je získáno pomocí diod D_4 až D_7 . Rezistor R_{22} zapojený mezi piny 12 a 13 udává stupeň zesílení vstupního signálu.



Obr. 6.8: Vstup přijímače včetně zapojení NE592

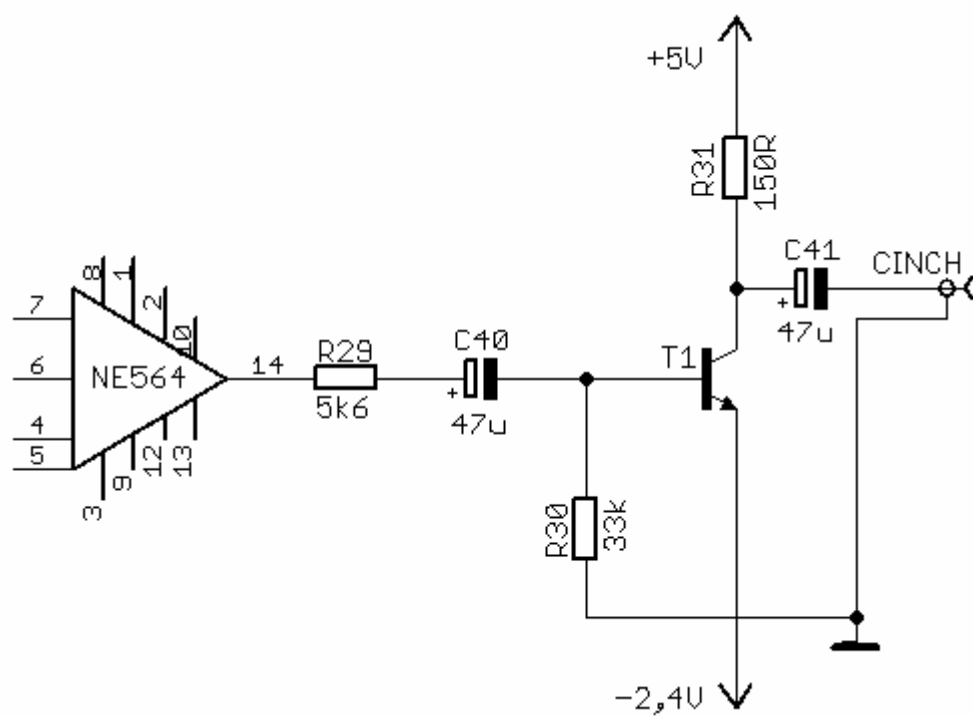
Zesílené napětí je odebíráno z pinu 7 a 8. Viz obr. 6.9. Jeden výstup je uzemněn (pin 7) a druhý je veden na vstup modulátoru NE564 (pin 6). R_{23} je zatěžovací odpor video zesilovače NE592. Kondenzátory C_{32} a C_{33} zapojené k pinům 4 a 5 značí filtr fázového závěsu, nebo-li dolní propust. Viz schéma fázového závěsu na obr. 6.3. Oba výstupy VCO (pin 9 a pin 3) jsou přes odpor R_{28} přivedeny na napájecí napětí. Potenciometr P_2 připojený přes odpor R_{25} k pinu 2 slouží pro nastavení pracovního bodu demodulátoru. Hodnota proudu je přibližně 3 mA.

Pin 1 a pin 10 slouží pro napájení obvodu. Napájecí napětí VCO (pin 10) je sníženo odporem R_{26} , jelikož přípustné maximum je +6V. Kondenzátory C_{36} a C_{37} jsou opět blokovací, zabrání šíření vyšších frekvencí z NE564 do ostatních částí zapojení.

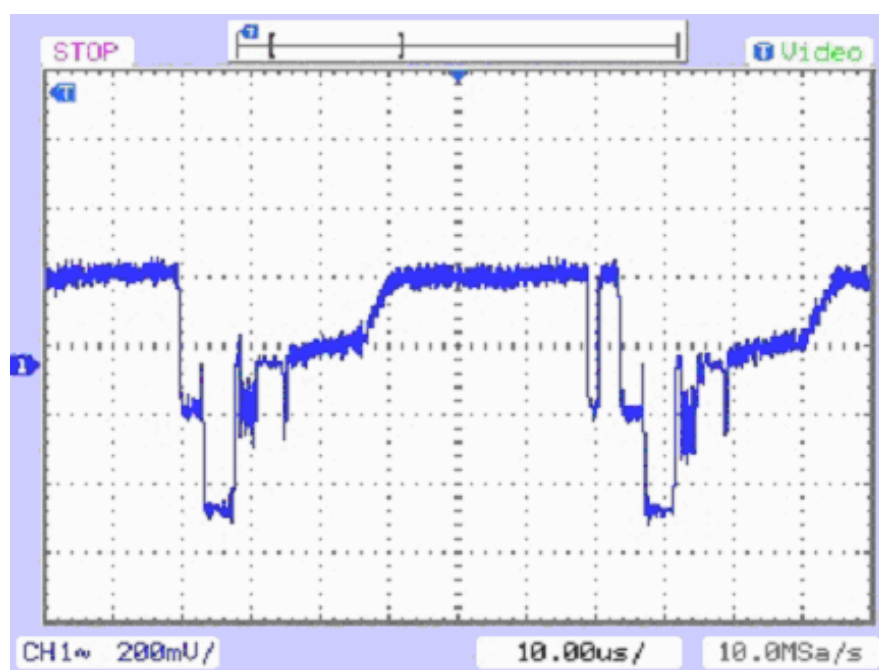


Obr. 6.9: Schéma zapojení demodulátoru NE564

Pro nastavení frekvence VCO a správné demodulaci signálu slouží paralelně zapojené kondenzátory C_{38} a C_{39} . Kapacitní trimr C_{39} umožňuje nastavení kapacity v rozmezí 3 až 33 pF, kdežto hodnota kondenzátoru C_{38} je pevně dána a to 10 pF. Nemodulovaný video signál je posléze odebrán z výstupu NE592 (pin 14). Viz obr. 6.10. Snímané napětí na zatěžovacím odpor R_{29} demodulátoru NE564 vytváří změny proudu, které sleduje báze tranzistoru T_1 . Použitý tranzistor je typu BCP68-25. Pracovní bod tranzistoru je nastaven rezistorem R_{30} . Kondenzátor C_{40} odděluje stejnosměrnou složku, stejně tak i C_{41} . Rezistor R_{31} společně s odporem tranzistoru slouží k impedančnímu přizpůsobení vstupní části televizoru. Jeho propojení s přijímačem zajistí konektor CINCH. Vstupní signál z přijímače je znázorněn osciloskopem na obr. 6.11.



Obr. 6.10: Schéma koncového stupně přijímače



Obr. 6.11: Vstupní signál do zobrazovací jednotky

6.5 POSTUP REALIZACE

Pro prvotní sestavení optického systému bylo využito nepájivé pole. Pro ladění funkce obvodu je zvolený postup ideálním řešením. Nabízí efektivní a rychlé změny při realizaci. Po ověření funkčnosti byly pomocí programu EAGLE navrženy desky plošných spojů. Výstup z programu je znázorněn v příloze B.1 a B.2. Příloha obsahuje navržené desky ze strany spojů i rozmístnění jednotlivých součástek.

Navržený systém, vysílač a přijímač, byl vyhotoven na dvě dvoustranné cuprexitové desky o jednotném rozměru 100 x 38mm. Desky byly provrtány a osázeny jednotlivými součástkami. Pro realizaci byla využita kombinace součástek diskretních a součástek v provedení SMD. Jejich soupis je uveden v příloze C. SMD součástky představují keramické kondenzátory, rezistory, diody a tranzistor.

Pro nulový potenciál bylo použito tzv. rozlití mědi. To vede k zjednodušení schématu a především k lepšímu odstínění obvodů. Signálové a napájecí cesty jsou zrealizovány silnějšími spoji. Jejich minimální šířka je 1 mm.

Stabilizátory napětí 7805 a 7808 jsou opatřeny malými hliníkovými chladiči. Ty umožňují lepší odvod vznikajícího tepla. Přívod napětí z elektrické sítě je u vysílače řešen nestabilizovaným síťovým adaptérem 9 V/300 mA a přijímací část je napájena rovněž nestabilizovaným adaptérem 12 V/500 mA.

Výsledná kvalita přeneseného televizního signálu se po návrhu desek plošného spoje nepatrně zvýšila. Což bylo vzhledem k charakteru nepájivého pole předpokládající. Věrohodnost distribuovaného signálu optickým systémem byla dále prověřena osciloskopem a zdokumentována fotoaparátorem. Viz následující kapitola.

Pro svou dostupnost a především nižší pořizovací náklady bylo zvoleno pouzdro (konektor) umožňující navázání optického vlákna TOSlink. Nevýhodou je však vyšší cena optických kabelů větší délky (nad 5m). Proto použití optického konektoru TOSlink omezuje možnost testování přenosu na vyšší vzdálenost. Předpokladem pro simulaci přenosu na větší vzdálenost by byla změna pouzdra optického vysílače. Případající náhradou by byl vysílač HFBR – 1528 umožňující připojení konektoru FC. Což by vedlo k možnosti simulování přenosu až na kilometrové vzdálenosti.

6.6 KVALITA PŘENÁŠENÉHO SIGNÁLU

Pro posouzení kvality signálu byl použit televizní barevný generátor Epsilon TRF 498. Pro simulaci byly dle manuálního návodu zvoleny tři styly obrazu – černobílé pruhy, barevné pruhy a tzv. monoscope.

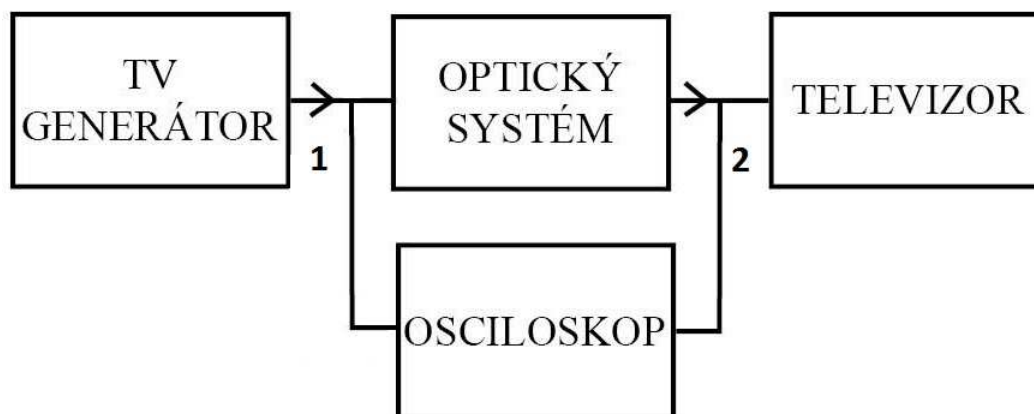
Nejdříve byl televizní generátor propojen s televizorem a zvolený signál zdokumentován fotoaparátorem. Jako propojovací prvek slouží kabel s konektory RCA (CINCH). Vyfocený signál barevné pruhy je zobrazen na obr. 6.12. Fotografie signálu černobílé pruhy a monoscope je součástí přílohy D.



Obr. 6.12: Výstupní signál generátoru

Následně byl totožný signál z televizního barevného generátoru přiveden do optického převodníku, přenesen optickým vláknem délky 3m a rovněž zobrazen v televizoru. Přičemž na výstup generátoru byl připojen kanál 1 digitálního osciloskopu. Na vstup televizoru kanál 2. Blokové schéma zapojení je znázorněno na obr. 6.13.

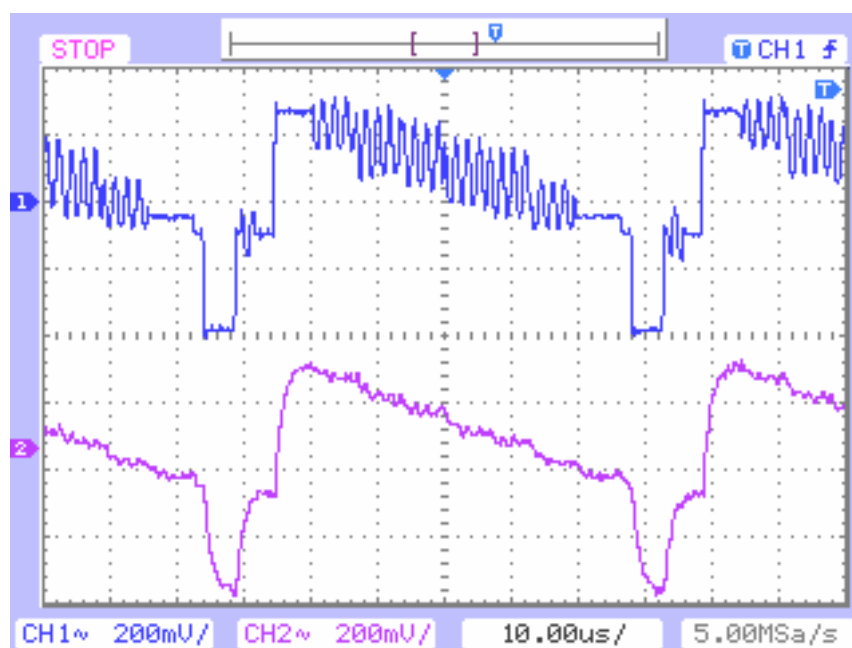
Osciloskopem byl tedy měřen signál původní (kanál 1) a signál přenesený optickým systémem (kanál 2). Výstup obrazovky osciloskopu (signál barevné pruhy) je zachycen na obr. 6.14.



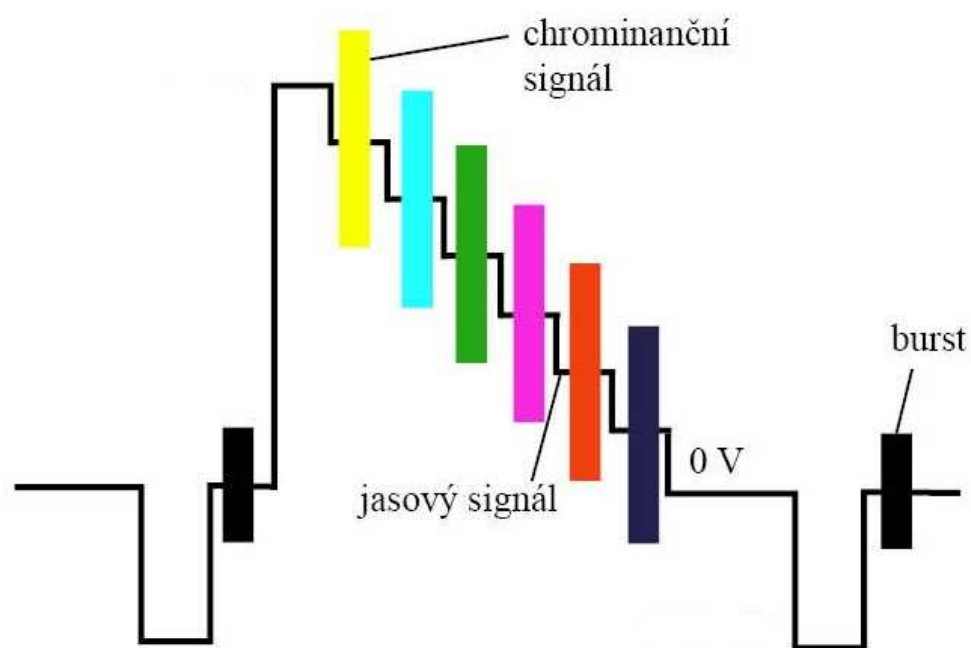
Obr. 6.13: Blokové schéma pro měření přeneseného signálu

Pro korektní zobrazení přenášených barev, je důležitá detekce synchronizačního impulsu barvy (burst). Viz obr. 6.15. Ten slouží k synchronizaci oscilátoru televizoru, který generuje barvonosnou. Ta se využívá pro demodulaci barvonosného (chrominančního signálu) [29]. Ze získaných průběhů je zřejmé, že navržený systém nepropouští vyšší frekvence. Ty jsou nositelem informace o detailech obrazu a barvonosné (4,43 MHz). Při měření nebyl synchronizační impuls barvy dostatečně detekován, avšak obnovení barevné informace v televizoru proběhlo správně. Viz obr. 6.16.

Z měření je dále patrné, že napěťová úroveň přeneseného signálu je přibližně totožná s úrovní původního signálu (750 mV_{P-P}). Stejným postupem byly zobrazeny a změřeny televizní signály monoscope a černobílé pruhy. Fotografie a výstupy z osciloskopu jsou v příloze D.



Obr. 6.14: Signály zachycené na osciloskopu. CH1 signál z generátoru, CH2 přenesený signál



Obr. 6.15 : Znázornění barevného signálu [30]

Posouzení kvality reprodukováného signálu je subjektivní záležitostí. Pro snímání a přenos obrazu bez důrazu na výslednou kvalitu je věrohodnost zobrazené scény plně dostačující. Další podmínkou kvalitního příjmu je dostatečné odstínění vysílací i přijímací části navrženého systému. Tato skutečnost platí zejména při simulaci přenosu na krátkou vzdálenost (několik metrů).



Obr. 6.16: Signál přenesený optickým vláknem

ZÁVĚR

Optický přenos je velmi dynamicky se rozvíjejícím odvětvím telekomunikací a skrývá dosud neobjevené možnosti. Velmi zajímavé jsou z finančního pohledu polymerové optické vlákna, jejich větší rozšíření prozatím komplikuje poměrně vysoký útlum.

Technologie přenosu analogového signálu optickým vláknem se jeví jako velmi užitečnou pro poskytovatele kabelových televizí a datových služeb. Umožňují jim výrazné snížení provozních nákladů, využití dokonalejších technických prostředků a tím nasazení kvalitnějších datových služeb, což je nejdůležitějším prvkem pro zákazníka. Poskytovatel využívající optické distribuce signálu tak získává výhodu oproti konkurenci. Kabelový operátor využívající technologie RFoG i při inovaci již stávajících rozvodů, kdy metalickou část páteřní sítě nahradí optickým vláknem. Lze tedy říct, že optické vedení postupně vytlačuje vedení metalické. Nyní je nejpoužívanější právě kombinace těchto dvou přenosových médií, která se využívá při budování systému HFC a RFoG. Jako komplikovanost se jeví vysoké pořizovací náklady a zdlouhavá administrativa při vybudování optické sítě.

Úvod bakalářské práce je věnován šíření signálu různými přenosovými médii. Nejvhodnější prostředím pro distribuci signálu je jednoznačně optické vlákno. A to zejména pro poskytující šířku frekvenčního pásma a malý útlum. S tím souvisí možnost šíření na dlouhé vzdálenosti bez nutnosti regenerace signálu. Důležitou vlastností optického vlákna je jeho útlumová charakteristika. Pomocí ní lze odvodit konkrétní vlnové délky vhodné pro přenos signálu vláknem.

Optický signál lze získat ze signálu elektrického zpravidla dvěma způsoby. Buď použitím luminiscenční diody, využívané při přenosu mnohavidovém nebo laserové diody. Laserové diody jsou kvalitnější a umožňují generování většího optického výkonu. Jsou však finančně nákladnější, používají se při buzení signálu u jednovidových optických vláken.

Kapitola 3.4 je zaměřena na optické převodníky. Úkolem zařízení je převod signálu elektrického na optický a naopak. V práci jsou vybrány tři převodníky různých výrobců a v přehledné tabulce porovnány jejich základní technické vlastnosti. Převodník se často označuje jako Micronode. Své uplatnění nacházejí zejména při distribuci televizního signálu, ale i pro přenos hlasu či dat. Jsou tedy využívány především poskytovateli kabelových televizí. Princip přenosu signálu optickým vláknem až ke koncovému zákazníkovi se nazývá FTTH. Metalická kabeláž je použita pouze pro propojení převodníku (Micronode) s uživatelským zařízením (televizor, modem, IP telefon). Nasazení optického převodníku a tedy technologie RFoG je možno i při monitorování strategicky důležitých lokalit, tajných pracovišť, atd.

Cílem druhé části bakalářské práce je realizace optického přenosového systému. Systém je složen ze zdroje analogového signálu, vysílače optického signálu, optického vlákna, přijímače optického signálu a koncového zařízení – televizoru. Systém je tedy navržen pro přenos analogového barevného televizního signálu.

Důležitým prvkem při návrhu systému je volba použité modulace. Z nabízených modulací byla zvolena frekvenční. Její výhodou je větší odolnost proti signálovému rušení. Informace je obsažena ve formě frekvence, amplitudové zkreslení tedy nemá vliv na detekovaný signál.

Vysílač je tvořen video zesilovačem NE592, modulátorem NE564 a diodou LED emitující světlo vlnové délky 620 nm. Obvod NE564, stejně tak NE592, byl vybrán pro poskytující šířku pásma (60 MHz) a cenovou dostupnost. Pro správné navázání optického

signálu do přenosového vlákna byla LED dioda umístěna do pouzdra. Pouzdro umožňuje připojení optického kabelu označovaného jako TOSLink. Jedná se o dostupný a cenově příznivý kabel používaný zejména v audiotechnice.

Přijímač optického systému se skládá ze stejných integrovaných obvodů, které jsou použity i u vysílače. K detekci optického signálu slouží fotodioda PIN.

Obvod byl nejprve zhotoven na desce nepájivých spojů pomocí diskretních součástek. Po ověření funkčnosti byl pomocí programu EAGLE zhotoven návrh desky plošných spojů. Při následném osazování desky plošného spoje bylo již využito především součástek SMD. Desky byly zhotoveny jako dvoustranné. SMD součástky použity na jedné straně a diskretní na straně druhé.

Poslední část je věnována subjektivnímu zhodnocení kvality přeneseného signálu. Systém neposkytuje perfektní reprodukci televizního obrazu, a to proto, že nepřenáší vyšší frekvence. Ty umožňující korektní zobrazení zejména detailů snímané scény. Příčinou jsou vlastnosti použitého obvodu NE564. Reprodukci kvalitnějšího obrazu limituje rychlost a přesnost s jakou dokáže fázový detektor přijímače sledovat vstupní signál. A rychlost reakce VCO přijímače na signál z fázového detektoru.

Výsledkem bakalářské práce je funkční optický přenosový systém umožňující přenos barevného analogového televizního signálu.

LITERATURA

- [1] PETERKA, J. *Modulační a přenosová rychlost* [online]. září 1996.[cit. 2009-11-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a639k150.php3>>.
- [2] *Přenosové cesty a jejich charakteristiky* [online]. [cit. 2009-11-12]. Dostupné z WWW: <http://sdelovacka.kbx.cz/data/statnice/BEST/26.pdf>.
- [3] ZÁVODNÝ, V. *Metallické přenosové cesty* [online]. SPŠ E.Beneše Břeclav. 14. září 2006.[cit. 2009-11-15]. Syllabus přednášek, díl 3. Dostupné z WWW: <ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/metalicke_pc.ppt>.
- [4] HLOZÁK, M. *Sec* [online]. 2008 [cit. 2010-05-24]. Kroucená dvojlinka. Dostupné z WWW: <<http://budnet.eu/sec/?p=135>>.
- [5] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1
- [6] ŠIMEK, M. *Přenosová média* [online]. [cit. 2009-11-16]. Dostupné z WWW: http://zcu.arcao.com/kiv/pd/prednasky/03_media.pdf.
- [7] BROUČEK, J; KOTAS, R. *Hybrid Fiber Coax: stavte FTTB – buďte FTTH ready* [online]. březen 2008. [cit. 2009-11-20]. Dostupné z WWW: http://www.profiber.cz/eshop/files/16_Broucek_Kotas_HFC_stavte_FTTB_budte_FTTH_ready.pdf.
- [8] STIBOR, P. *OFA - Optical Fiber Apparatures* [online]. 2008 [cit. 2010-05-12]. Jednovidová optická vlákna se sníženou citlivostí na ohyby . Dostupné z WWW: <http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=149:vlakna-podle-itu-t-g657&catid=80:ofs-v-&Itemid=96>.
- [9] Fiber-Optics info [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. *Analog vs. Digital Transmission*. Dostupné z WWW: <http://www.fiber-optics.info/articles/analog_vs._digital_transmission>.
- [10] Fiber-Optics info [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. *Amplitude Modulation*. Dostupné z WWW: <http://www.fiber-optics.info/articles/amplitude_modulation>.
- [11] Fiber-Optics info [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. *Frequency Modulation*. Dostupné z WWW: <http://www.fiber-optics.info/articles/frequency_modulation_fm>.
- [12] HAVLAN, M. *Digitální metalické a optické trakty* [online]. ČVUT Praha. 30. května 2008.[cit. 2009-11-15]. Syllabus přednášek, díl 4. Dostupné z WWW: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4579>.
- [13] SALEH, B. E. A. TEICH, M.C. *Základy fotoniky, svazek 3*. Dušek, R. M.; FIALA, J.; VACEK, J. Praha: MATFYZPRESS, 1994. 226 s. ISBN 80-85863-01-4.

- [14] RFoG(RF over Glass) . In *PROFiber Networking*. 2009 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.profiber.cz/eshop/files/RFoG%20%28RF%20over%20Glass%29.pdf>>.
- [15] ANDERSON, T. Why RFoG?[online]. Alloptic.[cit. 2009-11-19].Dostupné z WWW:
<http://www.broadbandgear.net/archives/bgr/2008/073108/index.cfm>>.
- [16] Alloptic MicroNode100 . In *PROFiber Networking*. 2007 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.profiber.cz/eshop/files/Alloptic%20MicroNode100.pdf>>.
- [17] DKT Comega AO 801 series FTTX node. In *PROFiber Networking*, 2007 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.profiber.cz/eshop/files/DKT%20Comega%20AO%20801%20series%20FTTX%20node.pdf>>.
- [18] RAY50. In *Rayvert Technology*, 2006 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.rayvert.com/pdf/RAY50.pdf>>.
- [19] ZÁVODNÝ, V. *Teorie informace* [online]. SPŠ E.Beneše Břeclav. 14.září 2006.[cit. 2009-11-15]. Sylabus přednášek, díl 1. Dostupné z WWW:
<http://ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/TI.ppt>>.
- [20] PETERKA, J. *Modelace* [online]. říjen 1991.[cit. 2009-11-15]. Dostupné z WWW:
<http://www.earchiv.cz/a91/a142c110.php3>>.
- [21] ZÁVODNÝ, V. *Kmitočtové spektrum* [online]. SPŠ E.Beneše Břeclav. 14.září 2006. [cit. 2009-15-11]. Sylabus přednášek, díl 5. Dostupné z WWW:
<http://ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/spektrum.ppt>>.
- [22] Fiber to the x In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21.12.2005, 28.4.2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x>.
- [23] HADLEY, L. *A phase locked fiber optic system using FM modulation*. In Philips Semiconductors Data Communications Products. 1993 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://ics.nxp.com/support/documents/interface/pdf/an1434.pdf>>.
- [24] SCHOMMERS, A. *Elektronika tajemství zbavená : objevovat, experimentovat, porozumět*. kniha 4, Pokusy s optoelektronikou. Ostrava-Plesná: HEL, 2002. 191 s. ISBN 80-86167-04-6.
- [25] *Phase - locked loop NE564*. In Philips Semiconductors. 1994 [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.ges.cz/sheets/n/ne564.pdf>>.
- [26] *74F00*. In Philips Semiconductors. 1995 [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW : <http://www.bmo.physik.uni-muenchen.de/~riedle/Elektronik_II/KW17/74F00_2.pdf>.

- [27] TICHÝ, M. *Elektronika pro učitel'ské obory* [online]. 1998 [cit. 2010-05-13]. Frekvenční modulace. Dostupné z WWW: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/kap5/5_2.html>.
- [28] ČÍŽ, R Modulace s harmonickou nosnou vlnou . In *Teorie sdělování : přednáška č.4.* 2008 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://data.vypecky.info/VUT-TLI/MTSD/Prednasky/Pr4.pdf>>.
- [29] HANUS, S. *Základy televizní techniky I. : Přednášky.* 2009. 82 s.
- [30] PEMBERTON, A. *Pembers' Ponderings* [online]. 2009 [cit. 2010-05-25]. World Analogue Television Standards and Waveforms. Dostupné z WWW: <<http://www.pembers.freemove.co.uk/World-TV-Standards/>>.
- [31] WILFERT, O. *Fotonika a optické komunikace.* Brno: VUT FEKT, 2007. 128 s. ISBN 978-80-214-3537-7.
- [32] HORÁK, J. *Optické pojítka* [online]. 2009. 94 s. Diplomová práce. VUT Brno.

SEZNAM ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ

ZKRATKY A SYMBOLY

AGC	<i>Automatic Gain Control</i>
Al	<i>Aluminium</i>
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
AMI	<i>Alternate Mark Inversion</i>
APD	<i>Avalanche Photodiode</i>
CATV	<i>Cable Television</i>
CMI	<i>Codec Mark Inversion</i>
CMTS	<i>Cable Modem Termination System</i>
Cu	<i>Cuprum</i>
DSF	<i>Dispersion Shifted Fiber</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>
EDFA	<i>Erbium Doped Fibre Amplification</i>
FFTH	<i>Fiber to the Home</i>
FTTB	<i>Fiber to the Building/Baseband</i>
FTTC	<i>Fiber to the Cabinet</i>
FTTN	<i>Fiber to the Node</i>
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i>
HDB3	<i>High Density Bipolar Three Zeros</i>
HFC	<i>Hybrid Fiber Coax</i>
IM	<i>Intensity Modulation</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union</i>
LD	<i>Laserová dioda</i>
LED	<i>Luminiscenční dioda</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i>
NRZ	<i>Non - Return to Zero</i>
OH	<i>Hydroxide</i>
PAL	<i>Phase Alternating Line</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PFM	<i>Pulse Frequency Modulation</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RCA	<i>Radio Corporation of America</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RFoG	<i>Radio Frequency over Fibre</i>
RZ	<i>Return Zero</i>
SMD	<i>Surface Mount Technology</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pair</i>

TOSLINK	<i>Toshiba Link</i>
TV	<i>Televize</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
VCO	<i>Voltage Controlled Oscillator</i>
WDM	<i>Wavelength Division Multilexing</i>

VELIČINY

B	<i>šířka pásma</i>	Hz
C	<i>elektrická kapacita</i>	F
c	<i>rychlost světla ve vakuu</i>	$m \cdot s^{-1}$
f	<i>frekvence</i>	Hz
I	<i>elektrický proud</i>	A
m	<i>počet stavů číslicového signálu</i>	-
N	<i>výkon šumu</i>	dB
S	<i>výkon signálu</i>	dB
P	<i>výkon</i>	W
U_d	<i>difúzní napětí</i>	V
U	<i>elektrické napětí</i>	V
v_m	<i>modulační rychlost</i>	Bd
v_p	<i>přenosový rychlost</i>	$bit \cdot s^{-1}$
v_{pmax}	<i>maximální přenosová rychlost</i>	$bit \cdot s^{-1}$
Z_c	<i>impedance vedení</i>	Ω
Z_z	<i>impedance zakončeného vedení</i>	Ω
B	<i>index modulace</i>	-
Δf	<i>frekvenční zdvih</i>	Hz
λ	<i>vlnová délka</i>	m

SEZNAM PŘÍLOH

A SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODNÍKU

A.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ VYSÍLAČE

A.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘIJÍMAČE

B SCHÉMA PLOŠNÝCH SPOJŮ

B.1 PLOŠNÝ SPOJ VYSÍLAČE

B.2 PLOŠNÝ SPOJ PŘIJÍMAČE

C SEZNAM SOUČÁSTEK

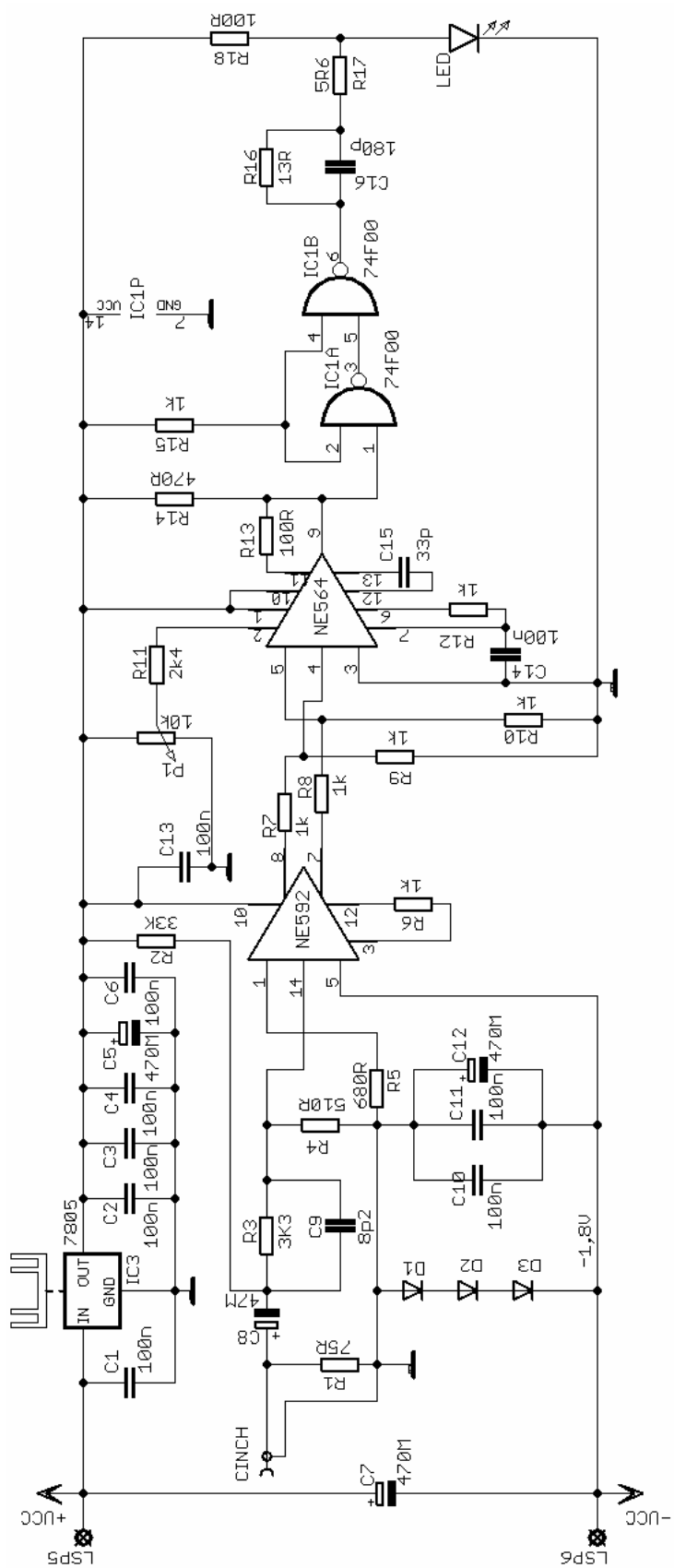
D FOTODOKUMENTACE K MĚŘENÍ KVALITY SIGNÁLU

E FOTODOKUMENTACE PŘEVODNÍKU

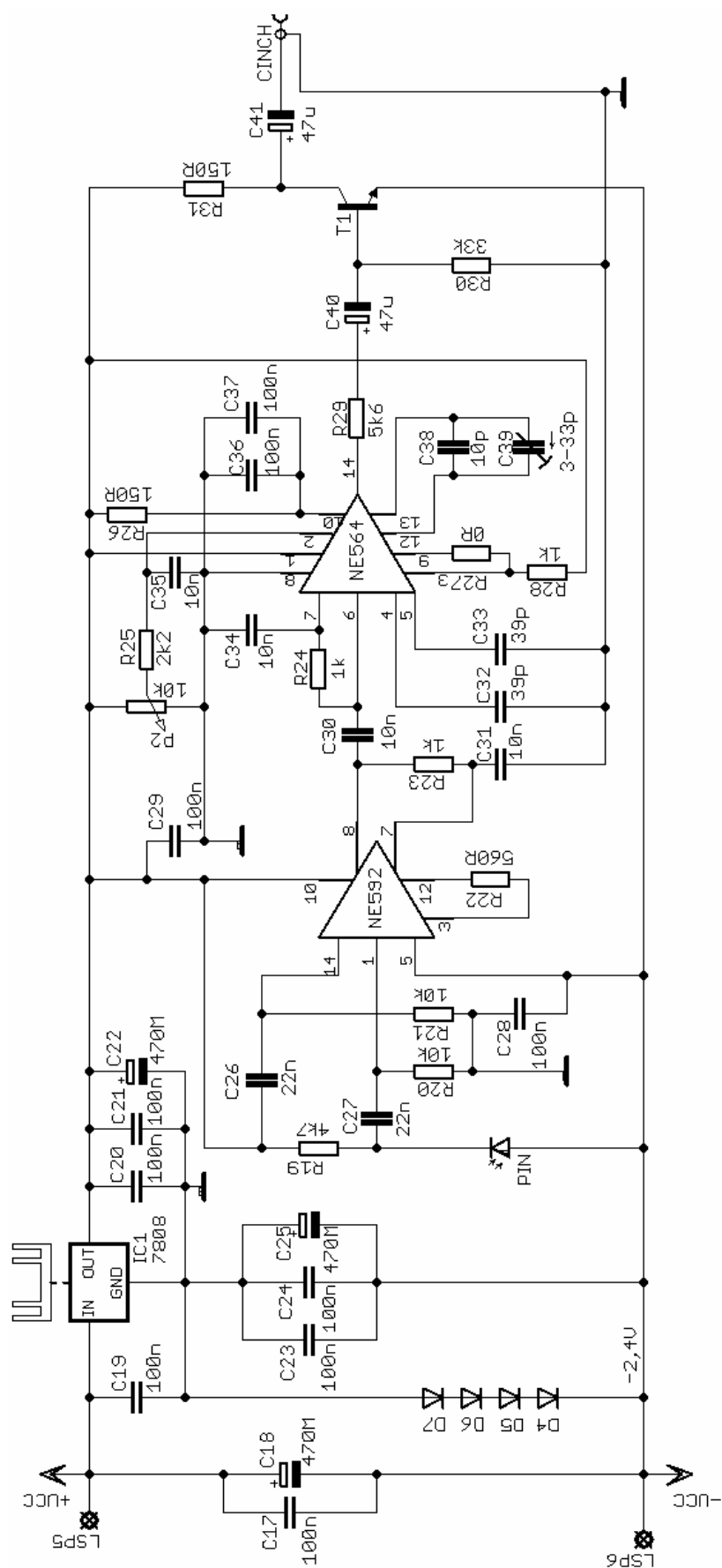
F OBSAH PŘILOŽENÉHO MÉDIA

A SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODNÍKU

A.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ VYSÍLAČE

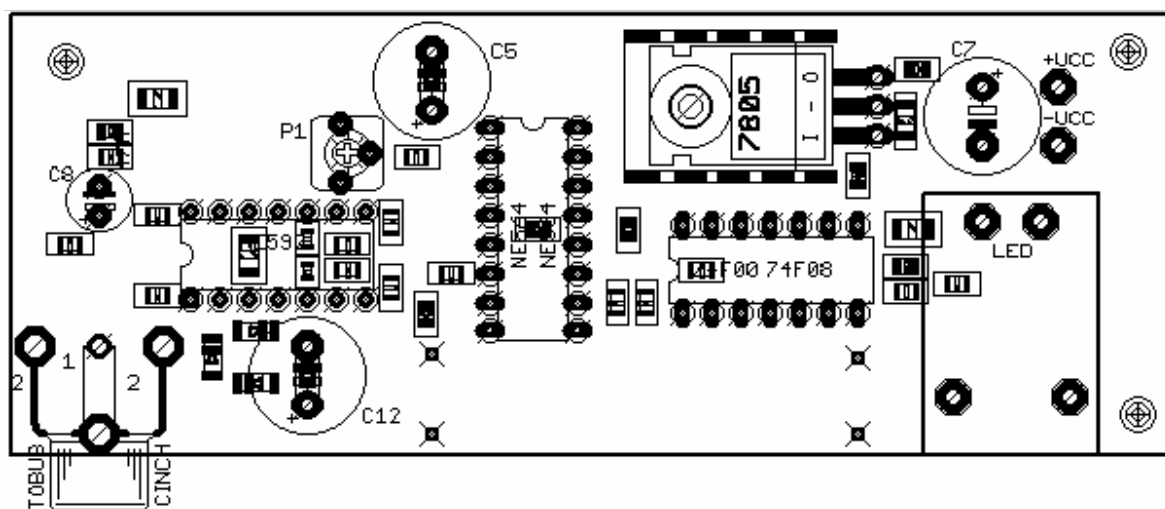
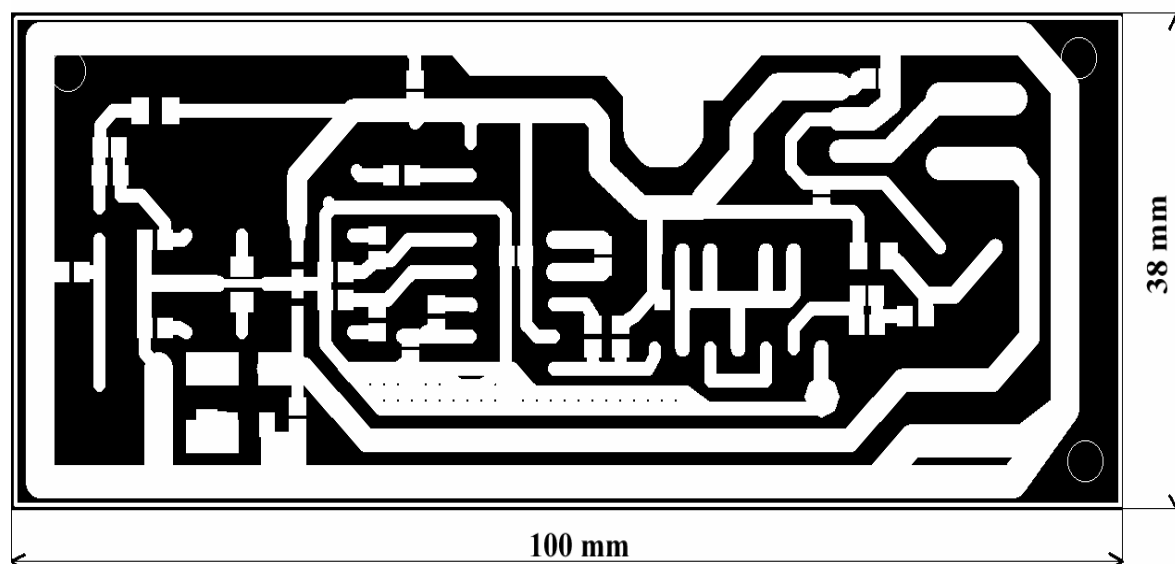


A.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘIJÍMAČE

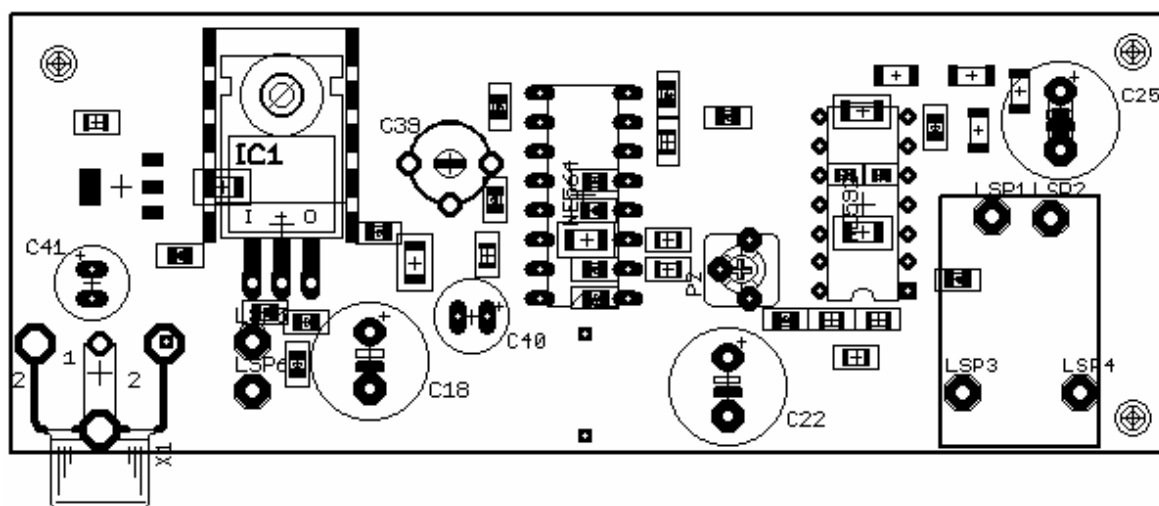
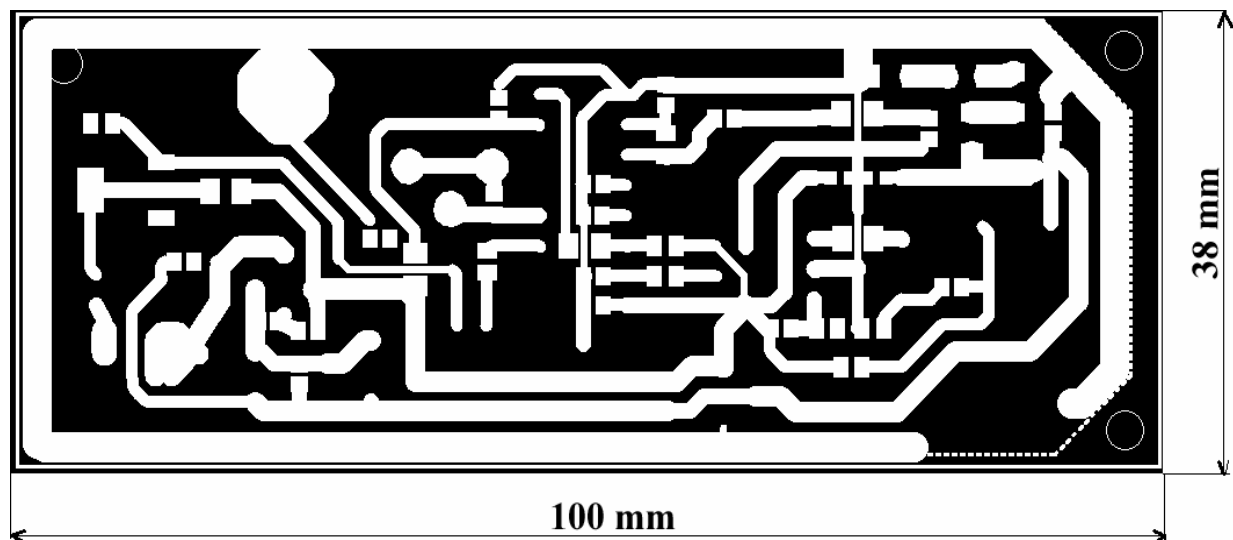


B SCHÉMA PLOŠNÝCH SPOJŮ

B.1 PLOŠNÝ SPOJ VYSÍLAČE



B.2 PLOŠNÝ SPOJ PŘIJÍMAČE



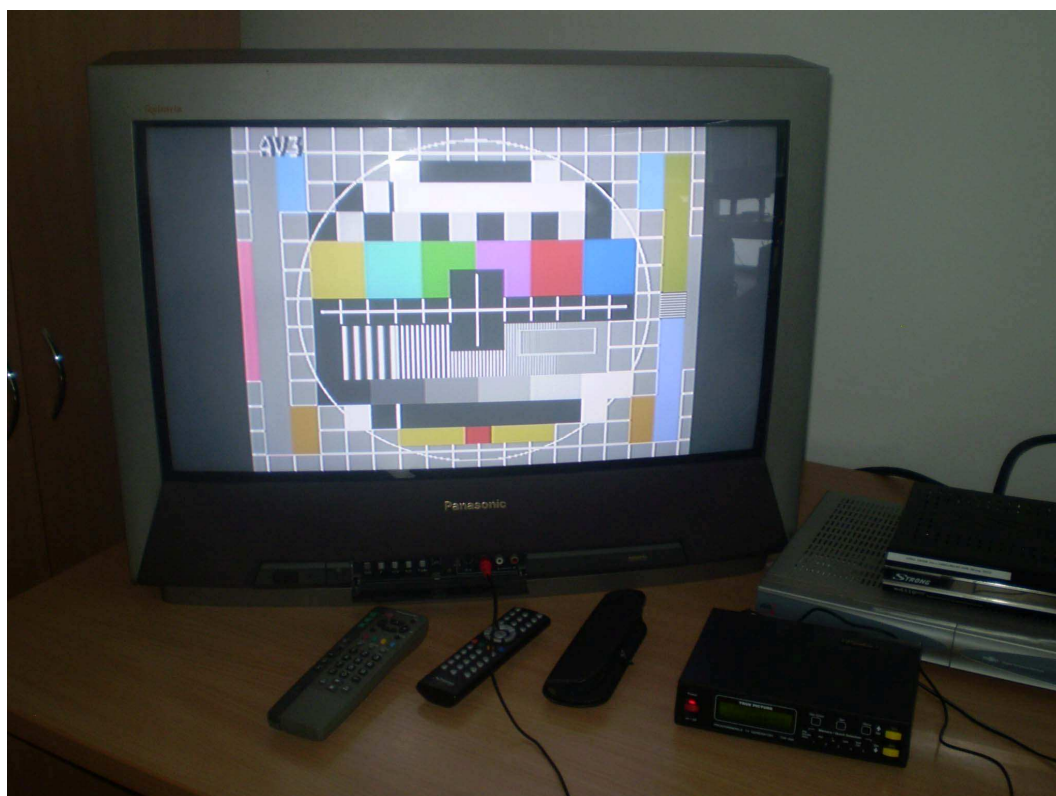
C SEZNAM SOUČÁSTEK

Kondenátory	
Název	Hodnota
C1	100n
C2	100n
C3	100n
C4	100n
C5	470u
C6	100n
C7	470u
C8	47u
C9	8p2
C10	100n
C11	100n
C12	470u
C13	100n
C14	100n
C15	33p
C16	180p
C17	100n
C18	470u
C19	100n
C20	100n
C21	100n
C22	470u
C23	100n
C24	100n
C25	470u
C26	22n
C27	22n
C28	100n
C29	100n
C30	10n
C31	10n
C32	39p
C33	39p
C34	10n
C35	10n
C36	100n
C37	100n
C38	10n
C39	3-33p
C40	47u
C41	47u

Rezistory	
Název	Hodnota
R1	75R
R2	33k
R3	3k3
R4	510R
R5	680R
R6	1k
R7	1k
R8	1k
R9	1k
R10	1k
R11	2k4
R12	1k
R13	100R
R14	470R
R15	1k
R16	13R
R17	5R6
R18	100R
R19	4k7
R20	10k
R21	10k
R22	560R
R23	1k
R24	1k
R25	2k2
R26	150R
R27	0R
R28	1k
R29	5k6
R30	33k
R31	150R

Ostatní součástky	
Název	Označení
D1	1N4148
D2	1N4148
D3	1N4148
D4	1N4148
D5	1N4148
D6	1N4148
D7	1N4148
LED	5 MM RED
PIN	SFH203
T1	BCP 68-25
NE564	2x
NE592	2x
CINCH	2x
chladič	DO3A 2x
74F00	
7805	
7808	

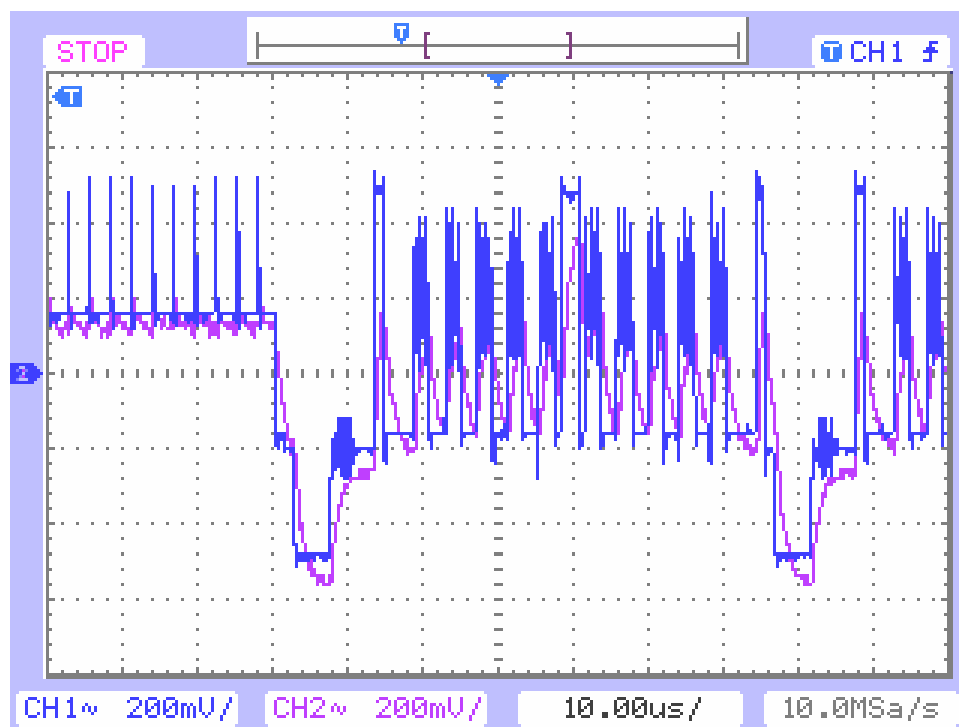
D FOTODOKUMENTACE K MĚŘENÍ KVALITY SIGNÁLU



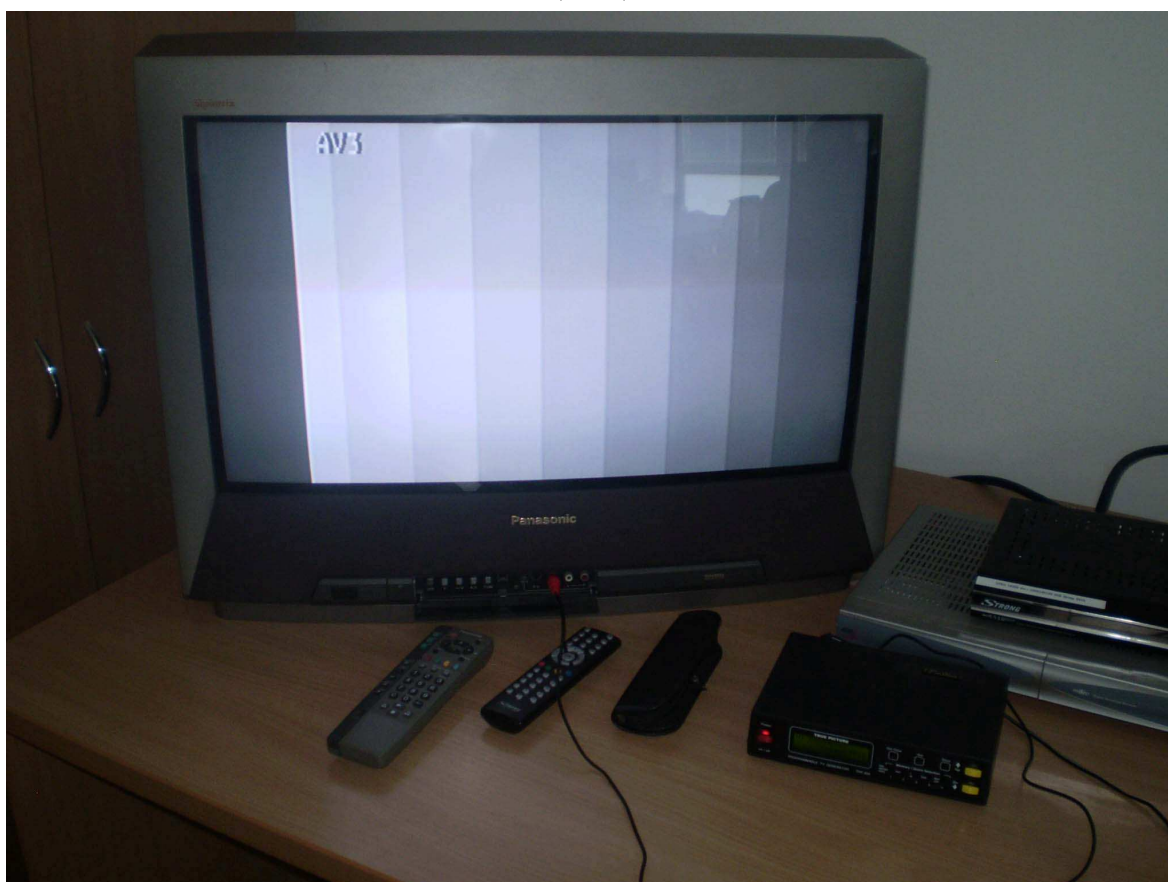
Výstupní signál generátoru - monoscope



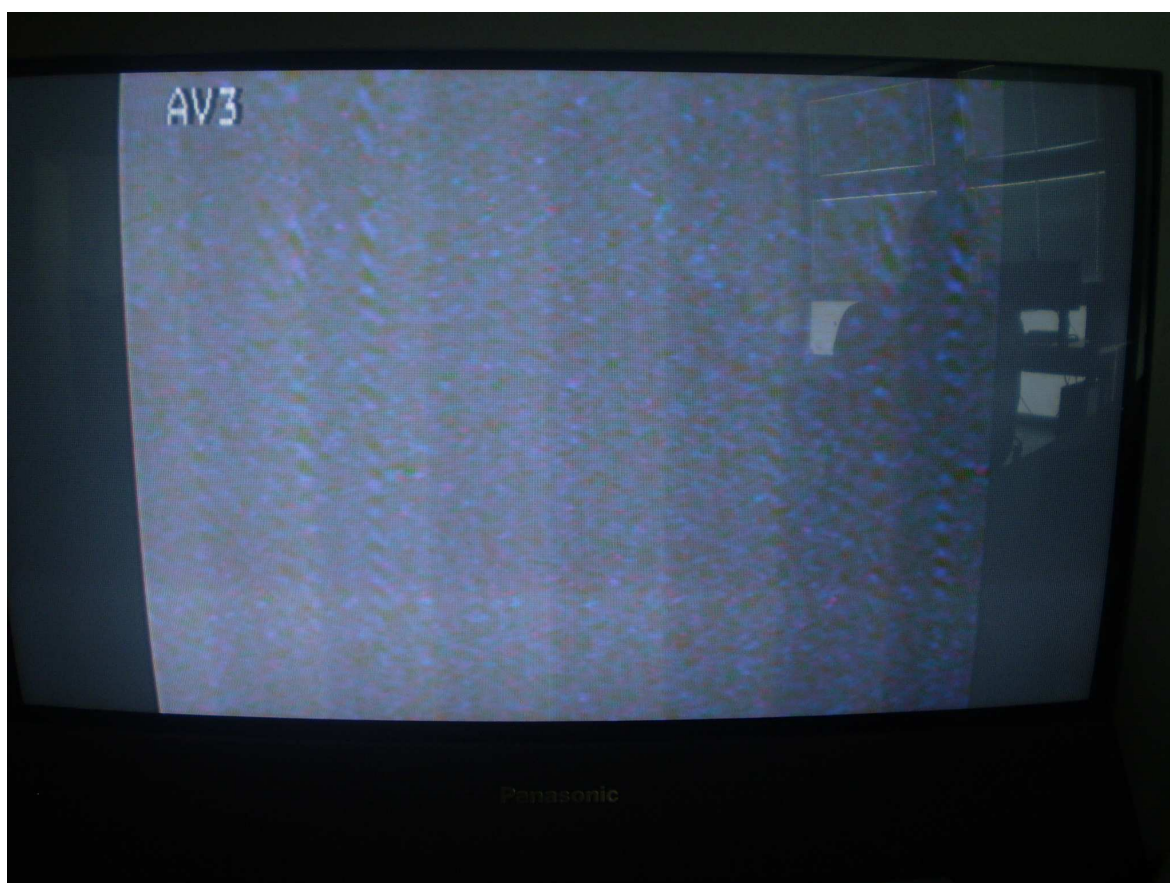
Přenesený signál – monoscope



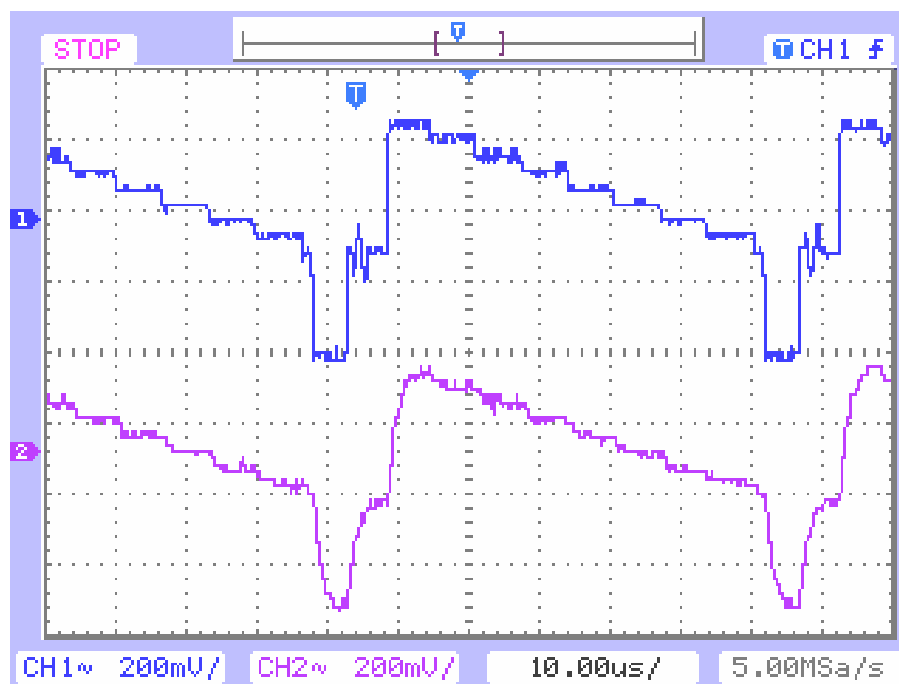
Výstup z osciloskopu – monoscope, signál přenesený (CH2) byl proložen s původním (CH1)



Výstupní signál generátoru – černobílé pruhy

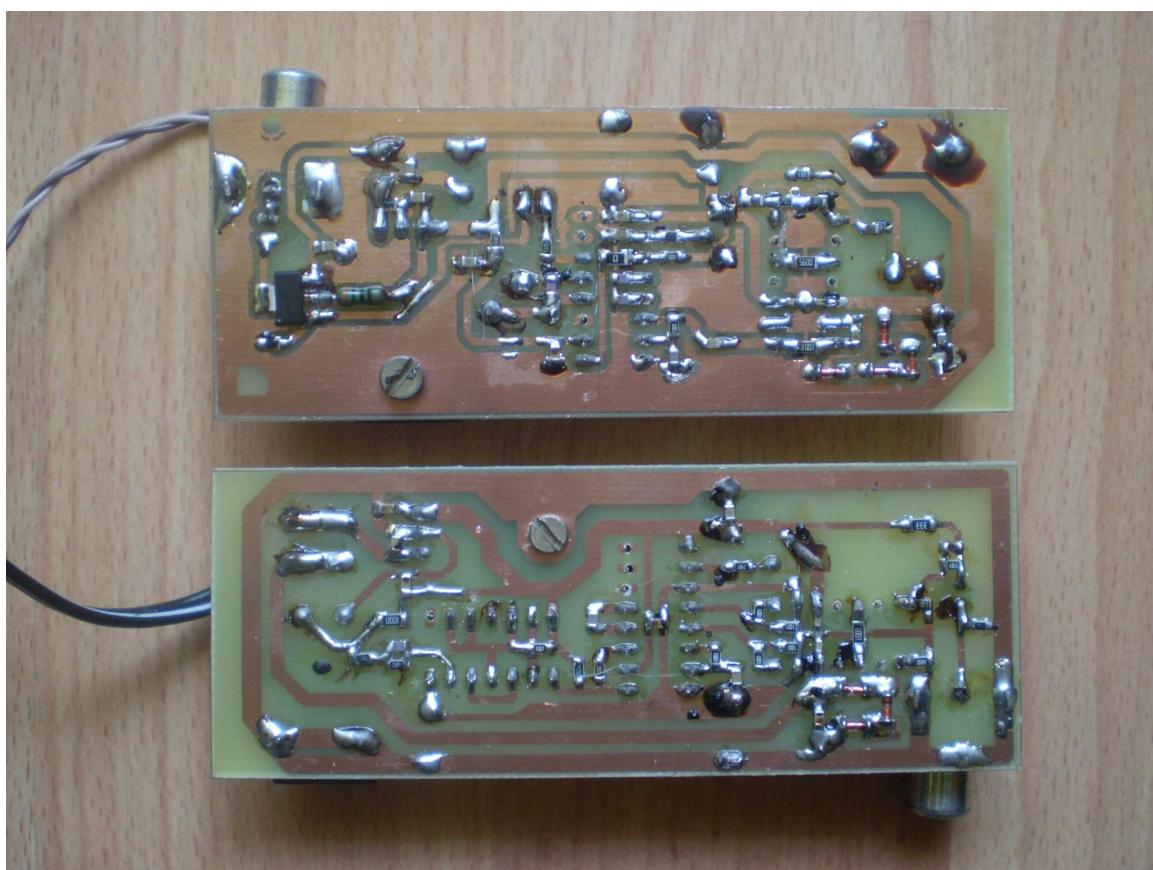
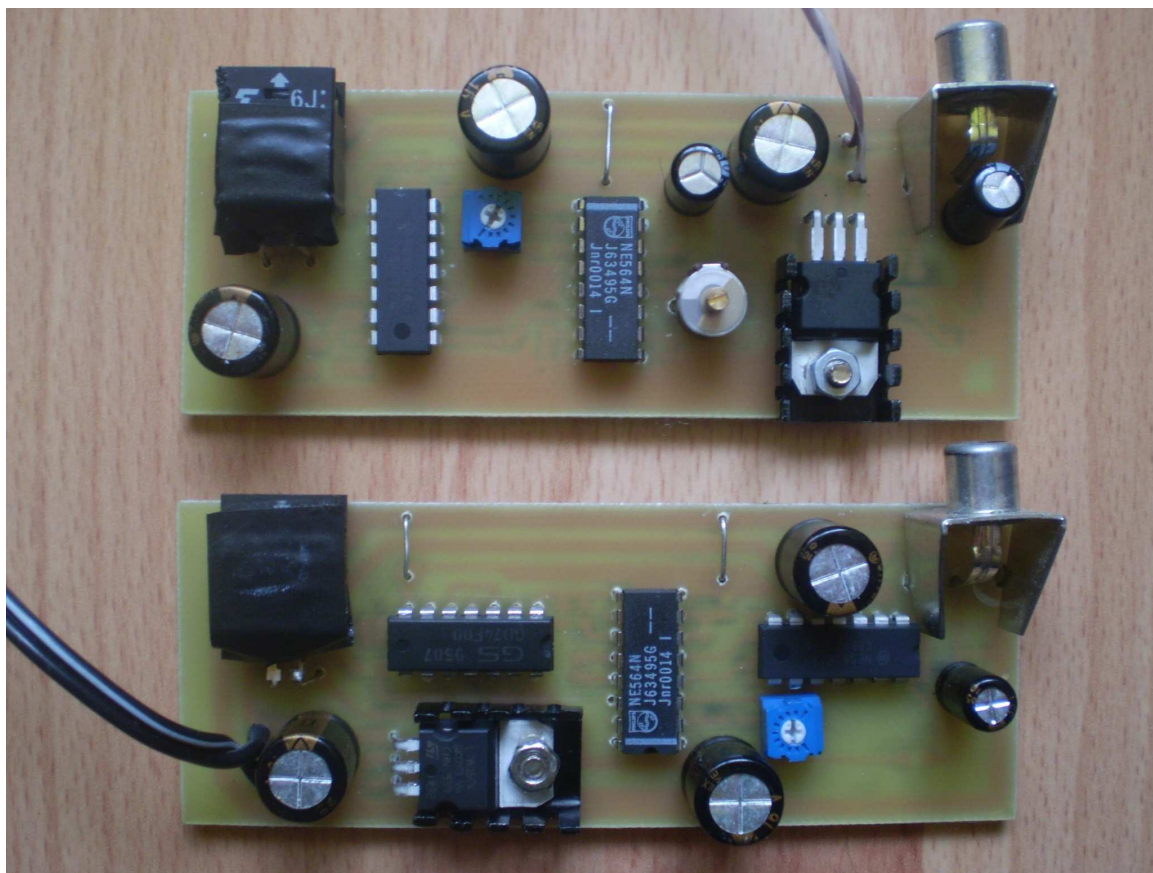


Přenesený signál – černobílé pruhy. Zachycení fotoaparátem je nekvalitní, v reálu je přenesený signál kvalitnější.



Výstup z osciloskopu – černobílé pruhy, signál přenesený (CH2), signál původní (CH1)

E FOTODOKUMENTACE PŘEVODNÍKU



F OBSAH PŘILOŽENÉHO MÉDIA

D.1 BAKALÁŘSKÁ PRÁCE VE FORMÁTU PDF

D.2 DATOVÉ LISTY K INTEGROVANÝM OBVODŮM (DATASHEET)

D.3 SOUBORY NAVRŽENÝCH DESEK PROGRAMEM EAGLE